



**UNIVERSIDADE DO MINDELO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR**

## **CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
ANO LETIVO 2018/2019 – 4º ANO**

**Tema: Projeto de Dimensionamento de um sistema de Dessalinização  
por osmose inversa utilizando Sistema Fotovoltaico**

**Caso de estudo: Aldeia-SOS Mindelo**

**Autor: José Carlos Gomes de Almeida, N.º 3867**

**Orientador: Mestre Susana de Castro**

**Mindelo, 2019**



UNIVERSIDADE DO MINDELO  
DEPARTAMENTO de ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR

CURSO DE LICENCIATURA Em  
ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

Relatório de trabalho de conclusão de curso Ano letivo 2018/2019 – 4º ano

Tema: Projeto de Dimensionamento de um sistema de  
Dessalinização por osmose inversa utilizando Sistema Fotovoltaico  
Caso de estudo: Aldeia-SOS Mindelo

Autor: José Carlos Gomes de Almeida, N.º 3867

Orientador: Mestre Susana de Castro

Mindelo, 2019

José Carlos Gomes de Almeida

Projeto de Dimensionamento de um sistema de Dessalinização por osmose  
inversa utilizando Sistema Fotovoltaico  
Caso de estudo: Aldeia SOS Mindelo

Projeto de trabalho de conclusão do  
curso, apresentado à Universidade do  
Mindelo como parte dos requisitos para  
obtenção do grau de licenciado em  
Engenharia em Energias Renováveis.

Orientador: Susana de Castro

Mindelo 2019

Dedico este trabalho a meu pai António Maurício de Almeida, que mesmo estando distante fisicamente permanece eternamente no meu coração e nas minhas lembranças como pai que me deu todas as ferramentas necessárias para que eu hoje chegasse até aqui.

OBRIGADO

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar e de forma especial quero agradecer a meu DEUS que sempre foi uma luz a guiar os meus passos, e por me ter ajudado a chegar até o fim desta minha jornada.

Agradeço aos meus familiares pela ajuda que me deram, não poupando esforços para que eu chegasse até aqui e por me terem acompanhado nos bons e nos piores momentos: à minha mãe por todos os sacrifícios feitos mesmo não tendo muito para me dar; às minhas tias que sempre me apoiaram com os seus recursos.

Agradeço também aos meus irmãos em Cristo pelas orações feitas a meu favor.

Um agradecimento especial a todos os meus docentes pela dedicação e paciência que sempre tiveram comigo e pela forma apaixonada com que transmitiram os seus conhecimentos para mim e por me terem auxiliado em todos os momentos que precisei.

Não teria conseguido sem a ajuda dos meus colegas que foram muito importantes nestes quatro anos. Por isso quero agradecer-lhes também por todo apoio, pela amizade.

Agradeço muito carinhosamente à minha orientadora por me ter acompanhado sempre na elaboração deste trabalho e também pelos conhecimentos compartilhados.

E também à Universidade na pessoa do senhor Reitor Albertino Graça por me ter acolhido, por me ter ajudado quando precisei, e por ser uma instituição que sempre buscou fazer o necessário para que tivéssemos todas as ferramentas para o nosso desenvolvimento intelectual, físico e pessoal.

**“(…), seja um voluntário”**

***Autor Desconhecido***

## **Resumo**

O presente projeto tem como tema: Projeto de Dimensionamento de um sistema de Dessalinização por osmose inversa utilizando Sistema Fotovoltaico. Caso de estudo: Aldeia SOS Mindelo.

Em Cabo Verde os recursos hídricos subterrâneos (poços) têm características salinas, que neste momento são descartados ou usados apenas para regas ornamentais por não terem condições suficientemente boas para o seu uso na agricultura.

Por isso o objetivo principal deste projeto é aproveitar estes recursos, aplicando técnicas de dessalinização para que possam ser viáveis para a agricultura, sem danificar as plantas e o solo. Este projeto pretende mostrar a simbiose que poderá existir entre as renováveis e a agricultura.

O projeto será realizado na Aldeia SOS do Mindelo, situado na zona de Ribeira de Julião. Apesar da existência de uma vasta área disponível para práticas agrícolas, não tem recursos hídricos disponíveis, uma vez que a água existente tem altas quantidades de sais. No passado, a sua utilização direta na agricultura trouxe consequências ambientais negativas como a destruição do solo fértil e das plantas, e também consequências económicas pois uma fonte de garantia de rendimento foi destruída.

O processo de dessalinização escolhido recorre a processos de membranas utilizando a tecnologia de osmose inversa para retirar os sais dissolvidos na água. A central de dessalinização será totalmente alimentada por energia solar fotovoltaica. As vantagens associadas a este projeto são vastas, ao nível ambiental, social e económico para a Aldeia SOS.

**Palavras chaves:** recursos hídricos, agricultura, Dessalinização, solar fotovoltaica.



## **Abstract**

The present project has as its theme: Design of a reverse osmosis desalination system using the Photovoltaic System. Case Study: Aldeia SOS Mindelo.

In Cape Verde, underground water resources (wells) have saline characteristics, which are currently discarded or used only for ornamental watering because they do not have good permissible conditions for agricultural use.

Therefore, the main objective of this project is to harness these resources by applying desalination techniques so that they can be viable for agriculture without damaging plants and soil. This project aims to show a symbol that can exist between renewables and agriculture.

The project will be carried out at Aldeia SOS do Mindelo, located in the Ribeira de Julião area. Despite the large area available for agricultural practices, no water resources are available as the water has high temperatures. In the past, its direct use in agriculture has caused negative environmental damage such as the destruction of soil and plants, as well as economic consequences, as a source of income security has been destroyed.

The desalination process chosen recovers membrane processes that use reverse osmosis technology to remove dissolved ones in water. A desalination plant will be fully powered by photovoltaic solar energy.

The advantages related to this project are vast in environmental, social and economic terms for SOS Village.

**Keywords:** water resources, agriculture, desalination, photovoltaic solar energy.

## LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviaturas	Denominação
<b>A</b>	Amperes: unidade da corrente elétrica
<b>AEB</b>	Águas e Energia de Boavista
<b>ANAS</b>	Agência Nacional de Água e Saneamento
<b>APP</b>	Águas de Ponta Preta
<b>a-Si</b>	Silício Amorfo
<b>B</b>	Átomo de Boro
<b>Bar</b>	Bar: Subunidade de Pressão
<b>CdTe</b>	Telureto de Cádmio
<b>CIS</b>	Desseleneto de Cobre e Índio
<b>CPV</b>	Concentrated Photovoltaics
<b>DC</b>	Corrente continua
<b>AC</b>	Corrente Alternada
<b>DN</b>	Diâmetro do tubo
<b>DSSC</b>	Dye sensitized Solar Cell
<b>FAO</b>	Food Agriculture Organization of The United Nation
<b>FV</b>	Furo
<b>GEEs</b>	Gases de Efeito de Estufa
<b>I<sub>L</sub></b>	Correntes fotogeradas
<b>INE</b>	Instituto nacional de Estatística
<b>IRENA</b>	International Renewable Energy Agency
<b>ITC</b>	Instituto Tecnológico de Canarias
<b>Kpa</b>	Kilo Pascal: unidade de Pressão
<b>Kw</b>	Kilowatt: unidade de potência
<b>KWh</b>	Kilowatt hora: unidade de energia
<b>Kwp</b>	Kilowatt pico: unidade de potência solar
<b>M</b>	Metro: unidade de comprimento
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cubico: unidade de volume
<b>m<sup>3</sup>/dia</b>	Metros cubico por dia: unidade de vazão

<b>MDR</b>	Ministério de Desenvolvimento Rural
<b>m-Si</b>	Silício Monocristalino
<b>OPV</b>	Organic Photovoltaics
<b>p – Si</b>	Silício Policristalino
<b>PE</b>	Polietileno
<b>PV</b>	Photovoltaic
<b>RED</b>	Renewable Energy Desalination
<b>TDS</b>	Total de Sólidos Dissolvidos
<b>V</b>	Volt: unidade de tensão
<b>ZDER</b>	Zona de desenvolvimento de Energia Renovável

# Índice

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>iv</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vii</b>
<b>1. CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. Introdução .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. Justificativa.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4. Metodologia .....</b>	<b>18</b>
<b>1.5. Estrutura.....</b>	<b>18</b>
<b>2. CAPÍTULO II- ESTADO DE ARTE .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Contextualização Energética .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. Sector energético em cabo verde .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.1. Sector energético em cabo verde em São vicente.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3. Recursos Hídricos .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.1. Situação da água no mundo.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.2. Situação da água em cabo verde .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4. Dessalinização.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.1. Tecnologias de Dessalinização .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.2. Osmose inversa .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.2.1. Descrição do Processo.....</b>	<b>31</b>
<b>2.5. Dessalinização em cabo verde .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6. A dessalinização e as energias renováveis.....</b>	<b>39</b>

<b>2.7. Dessalinização e a agricultura .....</b>	<b>41</b>
<b>2.8. Avaliação dos impactes ambientais .....</b>	<b>42</b>
<b>2.9. Energia solar fotovoltaica.....</b>	<b>43</b>
<b>2.9.1. Tecnologia das células Fotovoltaica .....</b>	<b>43</b>
<b>2.9.2. Evolução das células Fotovoltaicas .....</b>	<b>44</b>
<b>2.9.3. Sistemas fotovoltaicos.....</b>	<b>45</b>
<b>2.9.4. Célula fotovoltaica.....</b>	<b>46</b>
<b>2.9.4.1. Princípio de Funcionamento de uma Célula Fotovoltaica .....</b>	<b>46</b>
<b>2.9.4.2. Características elétricas das células fotovoltaicas.....</b>	<b>48</b>
<b>2.9.4.3. Fatores externos que afetam os parâmetros elétricos.....</b>	<b>50</b>
<b>2.9.5. Módulos fotovoltaicos e painéis.....</b>	<b>50</b>
<b>2.10. Recurso solar .....</b>	<b>52</b>
<b>2.10.1. Radiação solar no Mundo .....</b>	<b>52</b>
<b>2.10.2. Radiação em Cabo Verde.....</b>	<b>53</b>
<b>2.10.3. Estimativa da radiação solar .....</b>	<b>54</b>
<b>2.11. Avaliação dos impactes ambientais .....</b>	<b>57</b>
<b>2.11.1. Impactes positivos .....</b>	<b>57</b>
<b>2.11.2. Impactes Negativos .....</b>	<b>58</b>
<b>3. CAPÍTULO III- CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>59</b>
<b>3.1. Caraterização da área escolhida.....</b>	<b>59</b>
<b>3.1.1. Apresentação e Enquadramento .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2. Abertura de valas.....</b>	<b>63</b>
<b>3.2.1. Assentamento de tubos.....</b>	<b>63</b>
<b>3.2.2. Aterro de valas .....</b>	<b>64</b>
<b>3.2.3. Camaras de derivação, ventosa e descargas de fundo.....</b>	<b>64</b>

3.3.	Dimensionamento do sistema de canalização e bombagem .....	64
3.3.2.	Estimativa do consumo do Sistema .....	66
3.4.	Dimensionamento do sistema de Dessalinização .....	69
3.4.1.	Escolha a tecnologia .....	69
3.4.2.	Escolha a membrana .....	69
3.5.	Dimensionamento fotovoltaico.....	71
3.5.1.	Escolha a tecnologia .....	71
3.5.2.	Estimativa do consumo do Sistema .....	71
3.6.	Desenho técnico .....	75
4.	CAPÍTULO IV .....	76
4.1.	Apresentação dos resultados .....	76
4.2.	Análise económica .....	76
4.2.1.	Análise económica de sistema de bombagem .....	76
4.2.2.	Orçamento da dessalinização .....	77
4.2.3.	Orçamento da abertura das valas .....	78
4.3.	Orçamento total.....	79
4.4.	Discussão dos resultados .....	79
4.5.	Viabilidade económica .....	79
4.5.1.	Vantagens/ desvantagens .....	83
4.5.2.	Objetivos cumpridos .....	84
4.5.3.	Análise swot.....	84
5.	CAPÍTULO V .....	86
5.1.	Conclusão.....	86
5.2.	Referência Bibliográfica .....	88
	ANEXO .....	92

## Índice de Figuras

Figura 1: Principais fontes de geração de energia no mundo, 2016 .....	21
Figura 2: Setor energético em cabo verde, 2017 .....	23
Figura 3: Disponibilidade de água no planeta .....	24
Figura 4: Disponibilidade de água no planeta em 2000-2001 .....	24
Figura 5: projeção para o ano 2025 da disponibilidade de água .....	25
Figura 6: Dessalinização da água no mundo .....	28
Figura 7: Distribuição mundial de tecnologias de dessalinização por capacidade instalada .....	29
Figura 8: a) osmose direta; b) pressão osmótica; c) osmose inversa .....	30
Figura 9: Princípio de Funcionamento da Osmose Inversa .....	35
Figura 10: Fatores limitantes para uma membrana de osmose reversa.....	36
Figura 11: Membranas.....	37
Figura 12: Unidade de dessalinização da água que operaram em 2000.....	38
Figura 13: Dessalinizador com capacidade de 10 m <sup>3</sup> .....	39
Figura 14: Contribuição das fontes renováveis para a dessalinização no mundo .....	40
Figura 15: organograma das tecnologias das células PV existente.....	44
Figura 16: Evolução das células fotovoltaicas.....	44
Figura 17: Esquema dos sistemas on-grid e off-grid.....	45
Figura 18: Curva P-V de uma célula Si- os principais parâmetros elétricos destacados. ....	48
Figura 19: Fatores que limitam os parâmetros elétricos .....	50
Figura 20: Disposição das células num módulo .....	51
Figura 21: associação em Série (a); associação em paralelo (b).....	52
Figura 22:Média anual da velocidade do vento e da radiação solar em Cabo Verde- Mindelo.....	53
Figura 23: Representação dos ângulos solares .....	54
Figura 24: Valores de n para cada mês .....	55
Figura 25: localização do projeto .....	59
Figura 26: Esquema do projeto.....	60
figura 27: desenho do furo em questão, destacando os principais parâmetros .....	62
Figura 28: Abrigo do furo FV-37 em Ribeira de Julião .....	65
Figura 29: Esquema de dessalinização .....	71
Figura 30: Esquema completo do Sistema.....	75
figura 31: Maquete do sistema feito em solidWorks .....	75
Figura 32: Análise económica .....	80

## Índice de Tabela

Tabela 1: precipitação média por ilha.....	26
Tabela 2: Tabela 3: Pontos de Água e o Volume de Água Explorado por Ilha.....	27
Tabela 3: Pontos de água explorados em Cabo Verde .....	27
Tabela 4:Tecnologias de Dessalinização .....	29
Tabela 5:Osmose reversa: Vantagens e Desvantagens.....	31
Tabela 6: Produção de Água Dessalinizada - Capacidade Nominal .....	38
Tabela 7: Avaliação dos impactos ambientais.....	42
Tabela 8: Equipamentos auxiliares de um Sistema Fotovoltaico .....	46
Tabela 9: Impactes Positivos .....	57
Tabela 10: Impactes Negativos.....	58
Tabela 11: estimativa do consumo de água .....	60
Tabela 12: Demanda real de água do projeto .....	61
Tabela 13: Caraterísticas e dimensões da tubagem .....	65
Tabela 14: Determinação dos parâmetros hidráulicos.....	66
Tabela 15: Dados elétricos da Eletrobomba .....	66
Tabela 16: Caraterística do Módulo .....	68
Tabela 17:Descrição da Membrana .....	70
Tabela 18: Composição da água do furo 37 .....	70
Tabela 19: Especificação elétrica dos equipamentos de dessalinização.....	72
Tabela 20: Resultados dos parâmetros hidráulicos (bombagem) .....	76
Tabela 21: Resultados dos parâmetros elétricos e mecânicos da dessalinização .....	76
Tabela 22: Analise económica de sistema de bombagem .....	76
Tabela 23: Analise económica da dessalinização .....	77
Tabela 24: Orçamento da abertura das valas .....	78
Tabela 25: Orçamento total .....	79
Tabela 26: Esterilizador UV .....	96



## Índice de equação

(1).....	32
(2).....	32
(3).....	33
(4).....	33
(5).....	33
(6).....	33
(7).....	34
(8).....	34
(9).....	34
(10).....	49
(11).....	49
(12).....	49
(13).....	50
(14).....	51
(15).....	51
(16).....	51
(17).....	51
(18).....	54
(19).....	55
(20).....	55
(21).....	55
(22).....	56
(23).....	56
(24).....	56
(25).....	56
(26).....	56
(27).....	57
(28).....	57
(29).....	57
(30).....	60
(31).....	61
(32).....	63
(33).....	63
(34).....	65
(35).....	67

(36) .....	67
(37) .....	67
(38) .....	68
(39) .....	68
(40) .....	72
(41) .....	72
(42) .....	73
(43) .....	73
(44) .....	73
(45) .....	73
(46) .....	74
(47) .....	74
(48) .....	74

# 1. CAPÍTULO 1

## 1.1. Introdução

A sociedade tal como nós a conhecemos hoje é o resultado de uma história que marcou gerações em busca de energia. A energia é o combustível que põe todo este sistema em funcionamento e sem ela tudo que conhecemos de desenvolvimento não seria possível.

A procura por melhores condições de vida tem feito com que o homem não poupasse esforços em procurar soluções energéticas. O homem, através dos recursos energéticos desenvolveu máquinas que aceleraram o processo de produção das indústrias, transporte, etc. Isso contribuiu para o aumento da população fazendo com que a procura por energia aumentasse ainda mais.

As fontes fósseis de geração de energia- petróleo, gás natural e carvão- dominaram e ainda continuam a dominar a matriz energética mundial. Consequentemente surgiram problemas ambientais- como aquecimento global, que trouxe consigo consequências avassaladoras para o mundo. As energias renováveis surgem neste contexto, não como uma fontes alternativas, mas sim como as principais fontes energéticas para que se possa fazer face a esses problemas.

A tecnologia de osmose inversa foi desenvolvida nos anos 60 e representa 44% da capacidade de dessalinização instalada no mundo e 80% do total dos números de centrais de dessalinização instalada no mundo. A utilização das membranas no processo de dessalinização tem aumentado devido ao melhoramento do desempenho dos equipamentos e a diminuição do preço dos mesmos. Na atualidade a osmose inversa é a tecnologia que mais tem sido escolhido para ser instalada nas novas centrais de dessalinização, e pode ser aplicada para uma variedade de recursos hídricos que tenham sais dissolvidos, utilizando pré-tratamento apropriado. (Lauren *et al*, 2009).

A associação entre as renováveis e a agricultura não é nova, uma vez que vários países que têm poucos recursos hídricos para prática de agricultura têm utilizado a dessalinização como alternativa para garantir água doce para a prática agrícola. Em Cabo Verde a prática de dessalinização limita-se apenas a produção de água dessalinizada para o consumo humano e atividades domésticas. O setor agrícola em Cabo Verde não tem conhecido grandes progressos devido à falta de água.

O alto consumo energético que o processo de dessalinização requer pode ser suplantado com a utilização das energias renováveis, que trazem muitas vantagens: económicas, sociais e ambientais.

## **1.2. Justificativa**

Este projeto surgiu devido ao meu desenvolvimento pessoal e académico. Em Cabo Verde existe essa crise ecológica derivado da falta de recursos hídricos o que afeta população e o setor agrícola. Neste contexto surge este projeto que apresenta uma proposta de solução para este problema.

Devido à sua situação geográfica Cabo Verde, em especial São Vicente, existem pouco recursos hídricos disponíveis para as necessidades da população e a dessalinização da água do mar é a alternativa encontrada para colmatar esse problema. Graças ao processo de dessalinização a população da ilha é suprida com água potável mesmo em épocas de crise da chuva que têm aumentando nos últimos anos.

O setor da agricultura é o que mais está a ser afetado com a falta de chuva e como é óbvio, a produção dos alimentos tem estado a diminuir e os preços a aumentar. Neste momento os recursos hídricos subterrâneos existentes na ilha estão a sofrer infiltrações salinas, e por essa razão não é apropriado utilizá-los diretamente no solo para irrigação sob pena de destruímos os poucos solos férteis que temos.

A solução encontrada passa por utilizar a dessalinização para a devida remoção dos sais dissolvidos na água e assim utilizá-la para a irrigação, utilizando as energias renováveis. Poderá surgir deste modo uma alternativa de mitigação dos efeitos negativos desta seca para o setor.

As vantagens associadas a este projeto são várias passando por ajudar os agricultores afetados pela seca, diminuir as emissões dos GEEs e potencializarmos o recurso hídricos. Estas são as bases para a elaboração deste projeto a fim de avaliar a viabilidade económica, tecnológica e dimensionar aquilo que poderá ser um projeto pioneiro e inovador para o país.

### **1.3. Objetivos**

O objetivo geral e os específicos foram delineados para projeto e passam a ser indicados.

#### **Objetivo geral**

Dimensionar de um sistema de osmose inversa para conversão de água salobra em água doce alimentado por energia fotovoltaica.

#### **Objetivos Específicos**

Para alcançar este objetivo geral foram propostos alguns objetivos:

- Identificar as principais atividades a serem desenvolvidas para o dimensionamento do sistema de Dessalinização.
- Dimensionar um sistema Hidráulico na Aldeia SOS para auxiliar o sistema de dessalinização.
- Descrever as principais etapas de engenharia para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico.
- Avaliar a sustentabilidade económica, social e ambiental com a implementação deste projeto.

## **1.4. Metodologia**

A metodologia utilizada neste trabalho de pesquisa foram:

- Recolha e análise de dados no local da implementação do referido projeto;
- Pesquisa bibliográfica sobre o assunto de forma a maximizar a qualidade final do trabalho;
- Realização de cálculos para o dimensionamento
- Utilização de programas computacionais para o auxílio no dimensionamento;
- Entrevistas com profissionais nacionais da área;
- Elaboração de soluções viáveis;
- Estudo da viabilidade económica
- Avaliação dos impactes ambientais.

## **1.5. Estrutura**

Uma boa organização é indispensável para a aceitação de qualquer projeto académico, por isso ao longo deste projeto foi dado uma especial atenção para este aspeto de forma a apresentar os conteúdos da melhor forma possível.

Este trabalho está dividido em cinco capítulos devidamente identificados. No primeiro capítulo tem a Introdução, a Justificativa do tema, os objetivos, geral e específicos, que se pretendia alcançar com a elaboração deste projeto, a referida metodologia e a estrutura.

No capítulo dois apresenta-se uma contextualização energética no mundo e em Cabo Verde sem esquecer da ilha de São Vicente. Neste mesmo capítulo começa-se a falar sobre os recursos hídricos, depois o estado de arte da dessalinização focando na tecnologia que será implementada neste projeto, a osmose inversa. Para terminar este capítulo debruça-se sobre o estado de arte energias renováveis, mas com o maior foco na solar fotovoltaica.

O capítulo três apresenta o desenvolvimento do caso de estudo deste projeto. Apresenta também para caracterização da área escolhida, a sua geografia, a ocupação do território, o recurso solar e hídrico para podemos elaborar o dimensionamento do sistema.

O capítulo quatro contém a apresentação dos resultados obtidos, a discussão desses resultados, a análise económica e ambiental deste projeto. O trabalho termina no capítulo cinco com a referida conclusão, a referência bibliográfica e o anexo.

## **2. CAPÍTULO II- ESTADO DE ARTE**

### **2.1. Contextualização Energética**

Todas as atividades realizadas pelo homem dependem exclusivamente de energia em suas diversas formas (mecânica, potencial, cinética, térmica, elétrica, etc.), e essa dependência energética tenderá a aumentar com o passar dos anos. Se tem um momento na nossa história em que a energia se tornou indiscutivelmente o bem mais precioso que temos e da qual dependemos foi com a revolução industrial. A revolução industrial houve a explosão demográfica. E como tal, a procura por energia nas indústrias, transportes, as atividades diárias aumentaram consideravelmente.

O desenvolvimento económico de um país depende fortemente de um acesso fácil e constante às fontes de energia. Uma vez que a nossa sociedade está em constantes mudanças, as necessidades humanas requerem cada vês uma disponibilidade energética. (Cîrstea *et al.*, 2018).

De acordo com, Debirmas, 2000, (*cit in Cîrstea et al 2018*) as fontes de energias podem ser divididas em três importantes categorias: combustíveis fósseis, nuclear e fontes renováveis de energia.

Fontes de energias renováveis podem fornecer energia livre de poluentes e zero ou quase zero percentagem de emissões. (Panwara *et al.*, 2011, *cit. In Cîrstea et al.*, 2018).

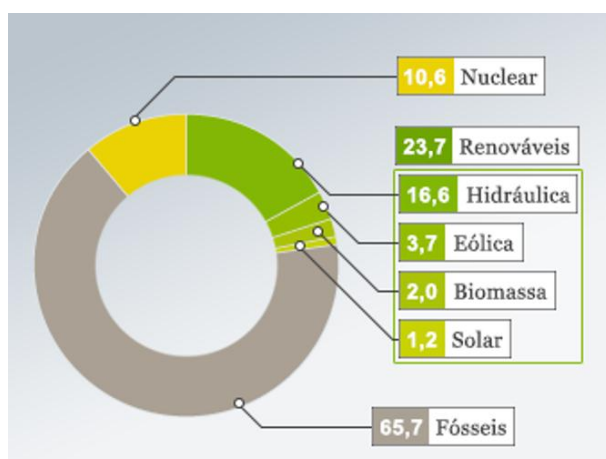
De fato, e conforme Cîrstea (2018, p.2) argumenta, “(...) a energia contribui significativamente para: desenvolvimento social e económico; Melhoramento das qualidades de vida das pessoas. No geral, se o fornecimento de energia for insuficiente, pode ter consequências negativas para a socio-economia e para as pessoas”



As fontes Fósseis de geração de energia (petróleo, carvão e gás natural) são aquelas que conhecemos como não tendo a capacidade de se adaptar a nossa escala de vida, no sentido que ela não se renova dentro da nossa linha de tempo de vida sendo, pois, classificadas como fontes esgotáveis e são muito poluentes.

A matriz energética mundial está fortemente dominada pelos combustíveis fósseis. As indústrias, os transportes, iluminação, etc., utilizam como fonte de energia o petróleo, o carvão e o gás natural.

**Figura 1: Principais fontes de geração de energia no mundo, 2016**



**Fonte:** <https://www.dw.com/pt-br/produ%C3%A7%C3%A3o-de-energia-renov%C3%A1vel-bateu-recorde-em-2016/a-38312825>

A utilização destas fontes para gerar energia tem trazido impactos negativos para o ambiente, contribuindo para o aquecimento global, com a liberação de GEEs (Gases de Efeito de Estufa), aumentando a pobreza e a fome em vários países; desequilíbrios ambientais causando chuvas torrenciais, inundações; degelo dos glaciares árticos que tem causado aumento do nível do mar, fazendo com que muitas ilhas habitadas e cidades costeiras sejam invadidas pelo mar.

Uma dependência nos combustíveis também trouxe consequências econômicas drásticas para o mundo, nomeadamente a crise energética dos anos 70. Essa crise deveu-se ao corte

da exportação do petróleo pelos principais países produtores. Com isso o mundo todo entrou numa crise tal que muitos países tiveram a sua economia estagnada durante anos.

Esses e muitos outros impactes tem feito com que os países desenvolvessem formas alternativas de produção de energia, que não viesse das fontes fósseis sem danificar o ambiente. De lá para cá o mundo tem investido em novas fontes de geração de energia mais limpa e que degrade menos o ambiente e gere recursos financeiros.

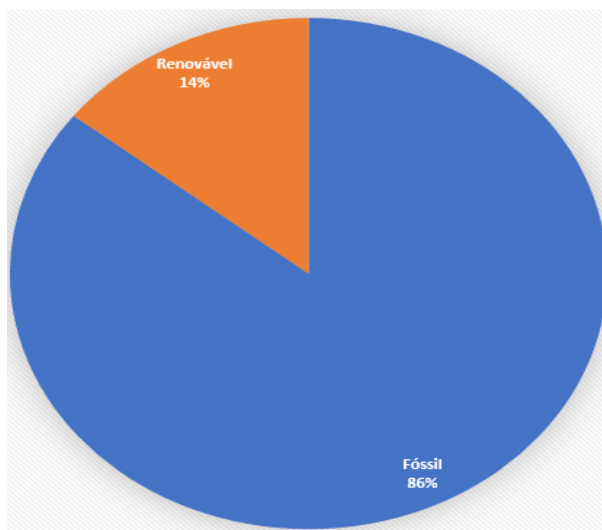
## **2.2. Sector energético em cabo verde**

O setor energético em Cabo Verde é fortemente dominado pelos combustíveis fósseis, biomassa, e uma pequena participação das renováveis. Os combustíveis fósseis que são consumidos no país são: a gasolina, o gasóleo, o fuel óleo (380,180), o Jet A1, o gás butano, e os lubrificantes. O consumo da biomassa é basicamente constituído pela lenha nas zonas rurais para confeção de alimentos. A energia renovável é a eólica, que tem a comparticipação de duas centrais. A energia solar representa uma pequena percentagem de total de energia consumida.

A energia produzida pelas centrais térmicas, 13 ao todo utilizando o diesel (gasóleo) e o fuel (180, 380), são utilizados para a eletricidade e para a dessalinização de água. A principal empresa a operar no setor elétrico em Cabo Verde é a empresa de eletricidade e água – ELECTRA S.A. A exceção é a ilha da Boavista onde opera a empresa público-privada Águas e Energia de Boavista (AEB). Na ilha do Sal opera, desde 2005, ainda a empresa Águas de Ponta Preta (APP), empresa de tratamento de água e energia.

Na área das energias renováveis o maior produtor de energia elétrica de origem eólica é a Cabeólica, S.A. uma empresa de parceria público-privada que iniciou a sua atividade em Cabo Verde em 2009 com a instalação de 4 parques eólicos, num total de 25,5 MW, nas ilhas de São Vicente, Sal, Boavista e Santiago. A empresa privada ELECTRIC WIND desenvolveu e tem explorado um Parque Eólico de 2 unidades de 250 kW cada, na ilha de Santo Antão.

**Figura 2: Setor energético em cabo verde, 2017**



**Fonte:** Setor de energia de Cabo Verde, aptado no Relatório de ELETRA, 2016

### **2.2.1. Sector energético em cabo verde em São vicente**

A energia produzida na ilha de São Vicente provém de duas centrais termoelétricas, a central de Matiota e a do Lazareto, e de dois parques eólicos um localizado na selada do Flamengo e pertencente a Cabeólica e o outro localizado na extremidade mais a Este desta mesma selada, esta por sua vez é explorada pela empresa Eletric Wind. A Electra, S.A. adquire a energia produzida pela Cabeólica e pela Eletric Wind para comercializar na sua rede de distribuição dado que esses dois produtores não possuem rede de distribuição.

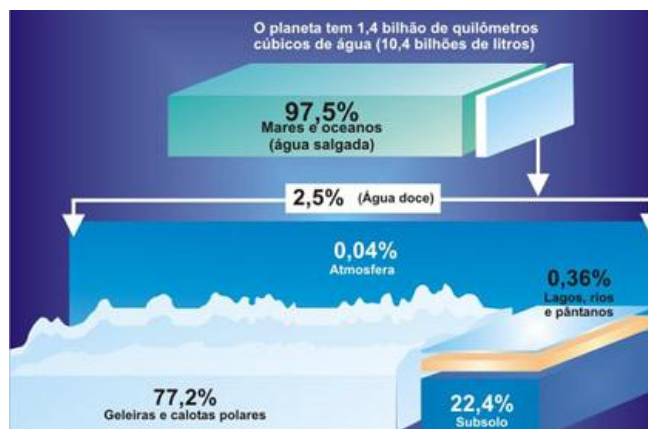
## **2.3. Recursos Hídricos**

### **2.3.1. Situação da água no mundo**

Gleick, 1996 (*cit In* Lauren; *et al*, 2009), afirma que 96.5 % do planeta terra está imergido em água de mar e dos oceanos e 1.7% da terra está localizado nas calotas polares. Aproximadamente 0.8% é considerado como água doce.

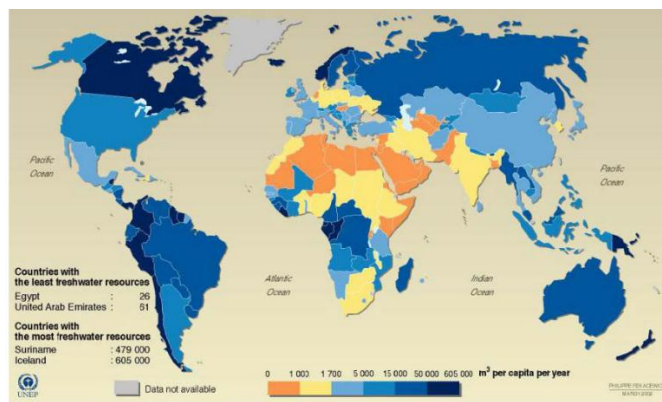
A restante percentagem está na água salobra, nos estuários, e como água subterrânea em aquíferos. (Lauren; *et al*, 2009).

**Figura 3: Disponibilidade de água no planeta**



**Fonte:** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gr%C3%A1fico\\_de\\_distribui%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_%C3%A1gua\\_no\\_planeta.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gr%C3%A1fico_de_distribui%C3%A7%C3%A3o_de_%C3%A1gua_no_planeta.jpg).

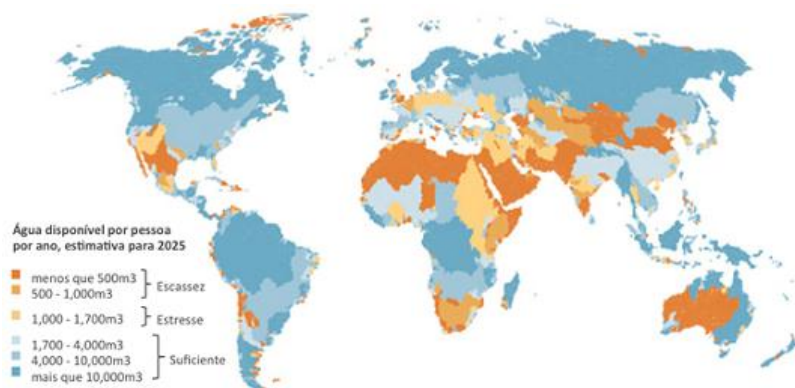
**Figura 4: Disponibilidade de água no planeta em 2000-2001**



**Fonte:** <http://teccienciapiloto.ufba.br/conscientizacao-sobre-a-agua/blog/nos-e-o-futuro-da-agua>.

Estudos mostram que cerca de um terço da população mundial reside em locais com alta escassez de água potável e essa percentagem tenderá a aumentar nos próximos anos. (Ahmed, *et al*, 2017).

**Figura 5: projeção para o ano 2025 da disponibilidade de água**



**Fonte:** <https://freshwaterwatch.thewaterhub.org/pt-br/content/water-limited-resource>.

O mapa acima apresenta a projeção mundial para 2025, mostrando o contraste entre as regiões á laranja, alta escassez de água, e á azul, alta disponibilidade de água.

### **2.3.2. Situação da água em cabo verde**

Cabo Verde tem sofrido com a ameaça contínua da seca, com a falta de chuvas. Por ser um fenómeno que vem repetindo ao longo dos anos, deve ser encarado como um risco provável e algumas vezes antecipado. O aumento da população, o desenvolvimento urbano, o crescente aumento das necessidades de irrigação, o turismo e a indústria, aliados à seca dos últimos anos, têm proporcionado situações de carência, que tendem a agravar-se com o tempo. A água funciona como um recurso, tanto pela quantidade como pela qualidade, condicionante do desenvolvimento económico e do bem-estar social de Cabo Verde.

#### **2.3.2.1. A Natureza dos Recursos Hídricos em Cabo Verde**

A chuva em Cabo Verde é, essencialmente, resultante da passagem anual da Frente Intertropical que provoca uma estação húmida de julho a outubro. As precipitações são concentradas durante os meses de agosto e setembro, período durante o qual cai em média,

cerca de 60% a 80% da quantidade anual de chuvas, variando de acordo com a topografia e a latitude das ilhas.

**Tabela 1: precipitação média por ilha**

Ilhas	Precipitação Média (mm)
Fogo	495
Santiago	321
Brava	268
Santo Antão	237
Sal	60
Boa Vista	68
Maio	150
São Nicolau	142
São Vicente	93

**Fonte:** Livro branco, 2013.

#### **2.3.2.2. Disponibilidades e Exploração dos Recursos**

Em Cabo Verde a exploração das águas superficiais é seriamente condicionada pelo seu tipo de escoamento, geralmente torrencial. Como a disponibilidades de água não é a mais favorável de todas torna-se necessário a criação de sistemas de captação e armazenamento das águas de escoamento superficial.

Segundo o livro Branco, 2013 p. 63, essas práticas são escassas e a água mobilizada representa uma parcela muito insignificante do potencial existente. Os melhores testemunhos da prática de captação de água das chuvas são as cisternas, sobretudo, na ilha do Fogo, que captam a água que escoar dos telhados e de superfícies impermeabilizadas que são utilizados na sua maioria para o consumo doméstico. Um outro exemplo desta boa prática foi a construção da barragem de Poilão, na ilha de Santiago. Que com o sistema de captação e armazenamento de água.

**Tabela 2: Pontos de Água e o Volume de Água Explorado por Ilha**

Ilhas	Número de pontos de água explorados (Nascente, Poço, Furo)	Caudal explorado (milhões de m3/ano) (Nascente, Poço, Furo)
Santo Antão	1105	14,764
São Vicente	335	0,132
São Nicolau	260	2,122
Sal	36	0,022
Boa Vista	69	0,120
Maio	135	0,731
Praia	1689	22,544
Fogo	96	0,740
Brava	5	0,944

**Fonte:** INGRH/PAGIRE 2010 adaptado em Livro Branco, 2013.

Segundo o Livro Branco, 2013 p. 64, devido a falta de controlo de exploração, captação e distribuição esses valores da **Tabela 2: Pontos de Água e o Volume de Água Explorado por Ilha**, devem ser tomados com muita precaução. Os furos contabilizados contemplam apenas aqueles munidos de meio de extração e efetivamente explorados. A maior parte desses pontos de água encontram-se nas ilhas de Santo Antão e Santiago, cerca de 85%.

**Tabela 3: Pontos de água explorados em Cabo Verde**

Ilhas	Águas superficiais	Águas subterrâneas		
		Bruto (período média)	Explorável (período média)	Explorável (período seco)
Santo Antão	27	28,6	21,3	14,5
São Vicente	2,3	0,573	0,41	0,219
São Nicolau	5,9	4,2	2,5	1,5
Sal	0,7	0,37	0,1	0,5
Boa Vista	2,5	1,6	0,73	0,3
Maio	4,7	2,1	0,9	0,5
Praia	56,6	42,4	26	16,5
Fogo	79	42	12	9,3
Brava	2,3	1,9	1,6	1
<b>Total</b>	181	123	65	44

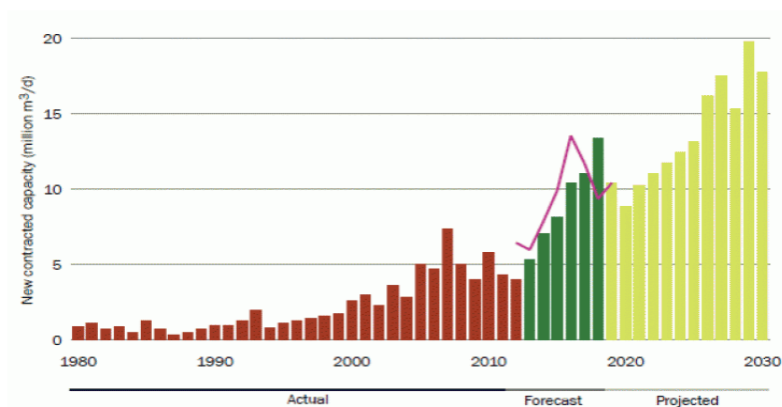
**Fonte:** Livro Branco, 2013

## 2.4. Dessalinização

A dessalinização é um processo que consiste na remoção do sal dissolvidos na água para produção de água doce. Água doce é definido como contendo uma percentagem de sais, ou Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) abaixo de 1000ml/l. (Lauren, *et al*, 2009).

Face a essa realidade de escassez de água, a solução encontrada parece estar na Dessalinização. A dessalinização tem aumentado no contexto mundial. Vários países, aqueles com alta escassez desse recurso, tem utilizado esse processo para abastecer as populações com água potável. Esse processo de separação utiliza várias tecnologias que funcionam a calor, a eletricidade ou uma combinação de ambas (compressão de vapor), tendo como resultado o permeado (água doce) e o concentrado (salmoura).

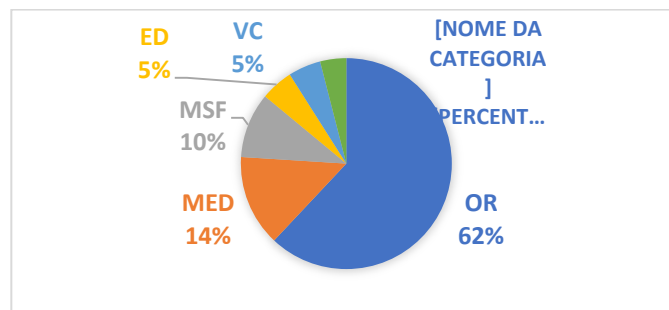
**Figura 6: Dessalinização da água no mundo**



**Fonte:** <https://www.nextbigfuture.com/2013/10/desalination-water-world.html>



**Figura 7: Distribuição mundial de tecnologias de dessalinização por capacidade instalada**



**Fonte:** Ahmed, *et al*, 2017, pag.3.

A quantidade de energia requerida para a realização do processo depende da quantidade de sais (salinidade) presentes na água. Quanto maior for a quantidade de sais dissolvidos na água maior será a quantidade de energia requerida para o processo. Uma baixa salinidade pode dever-se a vários fatores entre eles a presença de descargas fluviais, abundância de chuvas, etc.; no sentido contrário uma alta salinidade deve-se também a diversos fatores como por exemplo as altas temperaturas que favorecem a evaporação, etc.

#### 2.4.1. Tecnologias de Dessalinização

**Tabela 4: Tecnologias de Dessalinização**

Tecnologia de Dessalinização Térmica	Tecnologia de Dessalinização por membranas
Processo de multe estágio Flash (evaporação súbita) (MSF)	Osmose Inversa (OR)
Destilação Efeitos Múltiplos (MED)	Eletrodiálise (ED)
Destilação por Vapor Comprimido (VCD)	Nano filtração (NF)

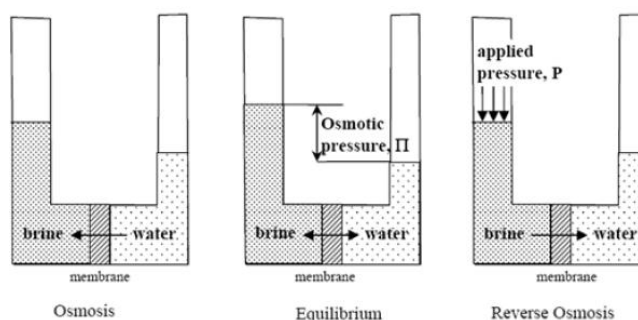
**Fonte:** Fritzmann, *et al* 2007, pag.3; Lauren; *et al*, 2009.

#### 2.4.2. Osmose inversa

A osmose inversa é uma técnica de separação conduzido por um diferencial de pressão (Fritzmann, *et al* 2007). A osmose é um fenómeno que acontece na natureza quando duas substâncias com salinidade diferente são postas em contacto. Naturalmente, sem

qualquer ação de forças externas, a substância de menor salinidade tenderá a passar para o lado de maior salinidade até que seja atingido um equilíbrio entre ambos. Chama-se de Osmose Direta. Esse equilíbrio chama-se de pressão osmótica. Mas se contrariamente sobre a solução de maior salinidade aplicarmos uma pressão externa superior que a pressão osmótica o fluxo de água altera-se dirigindo-se para a solução de menor salinidade. Por isso chama-se de Osmose Inversa.

**Figura 8: a) osmose direta; b) pressão osmótica; c) osmose inversa**



**Fonte:** ITC

A pressão osmótica depende da quantidade de sais dissolvidas na água. A pressão necessária para a realização da osmose inversa aumenta consideravelmente a medida que a quantidade de sais dissolvidos for maior. A pressão utilizada no processo da osmose reversa varia desde 15 bar (15 Kpa) até os 60- 80 bar (60-80 Kpa). Em alguns casos a pressão pode chegar até os 200 bar (200 Kpa) para conseguir ter um produto final livre de sais. (Fritzmman, *et al* 2007).

Nos últimos anos a osmose inversa teve um crescimento consideravelmente devido ao melhoramento da tecnologia, criação de membranas, desenvolvimento de novos equipamentos para reduzir o consumo de energia.

**Tabela 5: Osmose reversa: Vantagens e Desvantagens**

OSMOSE REVERSA	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Baixo investimento inicial	As membranas são sensíveis a incrustação e a sujidade (fouling <sup>1</sup> e scaling <sup>2</sup> )
Adapta-se facilmente às condições locais.	Configuração complexa.
O tamanho da planta pode ser ajustado para atender aos aumentos de curto prazo na demanda e expandido incrementalmente conforme necessário.	Requer pré-tratamentos abrangentes para serem usados alta água salgada.
Vantagem de custo significativa no tratamento de águas subterrâneas salobras.	Requer pessoal especializado para operação e manutenção.
Pode remover sílica.	Produção de Salmoura.
O custo de capital é aproximadamente 25% inferior às opções térmicas.	Água de alimentação limpa, necessitando de pré-tratamento.

**Fonte:** Ahmed; *et al*, 2017, pag. 3

#### **2.4.2.1. Descrição do Processo**

Segundo Fritzmann, *et al* 2007, pag. 9, o processo de osmose inversa está dividido nas seguintes etapas: Sistema de captação da água; Pré-tratamento da água de alimentação; Sistema de Bombagem (baixa e alta pressão); Membranas; Sistema de Recuperação de energia; Pós-tratamento; Controlo do sistema.

O elemento principal da osmose inversa são as membranas. As membranas são constituídas por matérias polímeros que têm a propriedade de semi-permeabilidade. Ou seja, eles são muito permeáveis à água, mas a sua permeabilidade para substâncias dissolvidas (sais, etc.) é baixa.

Quando a água de alimentação, excesso de sais, entra nas membranas sob alta pressão, as películas que são impermeáveis a sais deixam apenas a água livre de sais passar até o tubo

<sup>1</sup> Também chamado de bio-fouling devido a acumulação de matérias biológicas na membrana

<sup>2</sup> É o acúmulo de componentes inorgânicos na parte de alimentação devido o aumento da concentração de sal

<sup>2</sup> É o acúmulo de componentes inorgânicos na parte de alimentação devido o aumento da concentração de sal na superfície da membrana

rígido. Desse modo permite com que a água doce atravesse a membrana até a outra extremidade da membrana. (Fritzmman et al, 2007, pág. 9).

O fluxo no interior das membranas dá-se no sentido contrário a direção natural da osmose (de zona de alta concentração para a baixa concentração), enquanto isso os sais são retirados e concentrados na superfície das membranas. (Lauren, *et al*, 2009, pág. 8).

Lauren, *et al*, 2009, pág. 8, diz que a equação (1) é muito importante porque nos permite calcular a quantidade de sais que podem atravessar a superfície de uma membrana.

$$Na = L (\Delta p - \Delta \pi) \quad (1)$$

**Onde:**

**Na**- líquido que atravessa a membrana

**L**- Coeficiente de Permeabilidade

**$\Delta p$** - diferença de pressão nas membranas,

**$\Delta \pi$** - diferença de pressão osmótica entre o influente (salmoura) e o produto água

O desempenho da membrana de osmose inversa também pode ser medido por rejeição de sal. O fluxo de sal é pela equação (2), descrito por Baker, 2004, *cit In* Lauren, *et al*, 2009, pág. 8.

$$Ns = B(C_{\text{água de alimentação}} - C_{\text{Salmoura}}) \quad (2)$$

**Onde:**

**B** = Coeficiente de Permeabilidade, similar a equação (7).

$C_{\text{água de alimentação}}$  = TDS da água

$C_{\text{Salmoura}}$  = TDS da salmoura

Fritzmman, *et al*, 2007, na página 16, cita a lei de Van T'Hoff (3) como equação que permite calcular a pressão osmótica,  $\Pi$ , de uma solução diluída é calculada utilizando a:

$$\pi = C \times R \times T \quad (3)$$

**Onde:**

$\Pi$ - pressão osmótica

C- Concentração de iões

T- Temperatura

R- Constante de gás ideal

Rautenbach, *et al*, 2003, citado por Fritzmann, *et al*, 2007, pág. 16, mostra que a lei de Van T' Hoff quando é utilizada para água com baixa concentrações de sais (TDS) a equação (3) reduz para a seguinte equação:

$$\pi = \frac{8}{Wt_{NaCl}} \quad (4)$$

Uma vez que os gastos energéticos com a dessalinização são muito elevados, recorre a sistemas de recuperação de energia sobre forma de pressão. Por isso além do cálculo da pressão osmótica da água de alimentação, equação (4), é calculado também a pressão osmótica do concentrado, salmoura, ao sair das membranas. Para tal, Perry e Green, 1997, citado por Lauren, *et al*, 2009, pág. 8 utiliza a equação (5).

$$\pi_{concentrado} = \left( \frac{1}{1 - R_w} \right) \quad (5)$$

**Onde:**

$R_w$  = taxa de recuperação de energia, pressão.

Um parâmetro muito importante no processo de osmose reversa é a taxa de recuperação de pressão, pois é um indicador que mede o desempenho do sistema OR. A equação (6) ajuda a identificar esse parâmetro. (Lauren, *et al*, 2009, pág. 8).

$$R_w = \frac{Q_p}{Q_f} \quad (6)$$

**Onde:**

**R<sub>w</sub>**- taxa de recuperação

**Q<sub>p</sub>**- taxa de fluxo volumétrica do permeado

**Q<sub>f</sub>** - taxa de fluxo volumétrico de água de alimentação.

Wijmans, *et al*, 1995, citado por Lauren, *et al*, 2009, pág. 8, fornece a equação (7) que permite o calculo do Coeficiente de Permeabilidade, **L**, das membranas.

$$L = \frac{D \times S \times V}{R \times T \times l} \quad (7)$$

**Onde:**

**L**- Coeficiente de Permeabilidade

**D**- - Coeficiente difusividade da água,

**S**- - Coeficiente de Solubilidade da água

**V**- Volume molar da água

**R**- Constante de gás ideal

**T**- Temperatura

**l**- Espessura da membrana

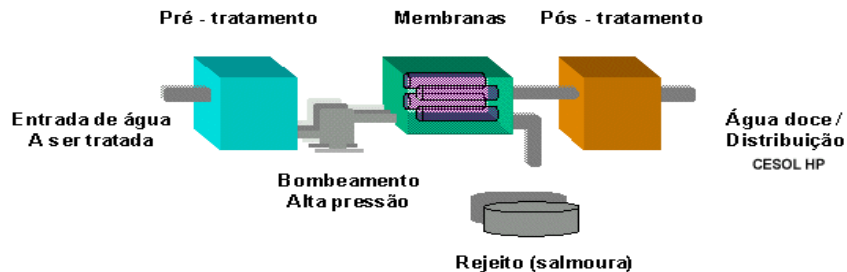
A rejeição do sal por uma membrana é um indicador que mede o desempenho global do sistema. A rejeição de sal pode chegar aos 98-99%. (Lauren, *et al*, 2009, pág. 9). Rejeição de sal através de uma membrana de RO é nominalmente dado pela equação (8):

$$R_s = \left( 1 - \frac{C_{\text{permeado}}}{C_{\text{concentrado}}} \times 100\% \right) \quad (8)$$

A rejeição de sal, **R<sub>s</sub>**, e a taxa de recuperação, **R<sub>w</sub>**, podem ser usados para calcular o fator de concentração (**CF**) da salmoura. A equação (9) nos dá esse parâmetro.

$$CF = \left( \frac{1}{1 - R_w} \right) \times [1 - R_w \times (1 - R_s)] \quad (9)$$

**Figura 9: Princípio de Funcionamento da Osmose Inversa**



**Fonte:** <http://www.geocities.ws/cesol999/OsmoseReversa.htm>

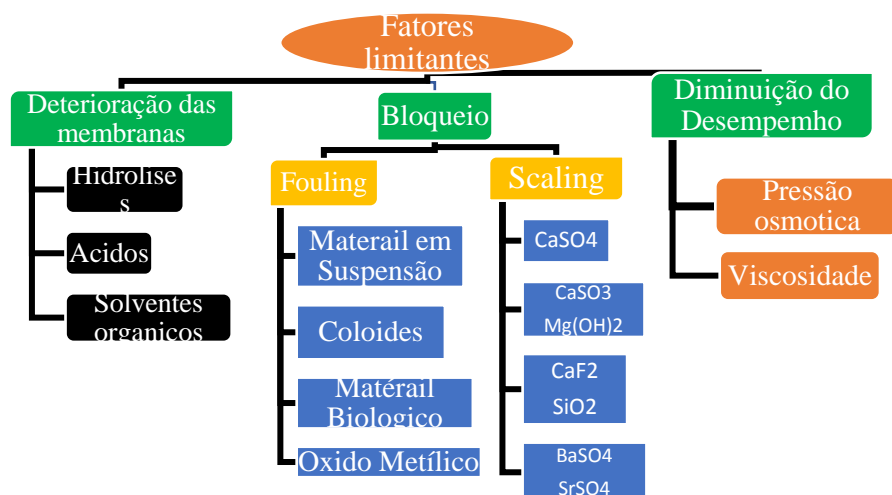
### **Pré-tratamento**

O pré-tratamento é um processo muito importante para a dessalinização na osmose reversa, pois melhora a qualidade da água antes de entrar nas membranas aumentando a vida útil dos equipamentos e permite que o processo ocorra normalmente.

O pré-tratamento pode ser dividido em dois grupos: o pré-tratamento físico e o tratamento químico. O primeiro é responsável pela filtração mecânica através de triagem, filtros de cartucho, filtros de areia ou filtração por membrana. Pré-tratamento químico inclui a adição de inibidores de incrustações, coagulantes, desinfetantes e poli eletrólito.

Os principais parâmetros da água a ser controlado no pré-tratamento são: Dureza- devido a incrustações; Turbidez- evitar a sujeira; Presença de substâncias orgânicas- evita a bio-fouling; Temperatura da água -pode alterar a produção; pH da água- as membranas são sensíveis. O material particulado é removido da água de alimentação e os produtos químicos são adicionado para evite a incrustação e sujeiras nas membranas.

**Figura 10: Fatores limitantes para uma membrana de osmose reversa**



**Fonte:** Rautenbach, *et al*, 2003, citado por Fritzmann, *et al* 2007, pag.19.

### **Bombagem e Sistema de Recuperação de Energia**

Como a Osmose inversa é realizada em alta pressão, dependendo da quantidade da salinidade existente, utiliza-se bombas capazes de movimentar grandes quantidades de volume de água. Numa escala de baixa produção utiliza-se bombas de movimento passivo, e para média e alta escala de produção utiliza bombas centrífugas.

Para otimizarmos uma central de produção de osmose inversa de grande produção que tem um consumo de energia relativamente considerável é aconselhável a utilização de sistemas de recuperação de energia. Uma vez que a água saí das membranas quase com a mesma pressão de entrada então utiliza-se equipamentos capazes de aproveitar essa pressão rejeitada de modo a aproveitar essa energia.

Os primeiros equipamentos que eram utilizados neste sistema era as turbinas de Francis e Pelton, mas demonstrou ter uma baixa eficiência, por isso na atualidade utilizam permutados de pressão que mais eficiência em relação as turbinas podendo chegar a eficiências de 97%. O objetivo deste sistema é diminuir o consumo de energia.



## Membranas

A membrana é o equipamento mais importante de uma central de osmose inversa. As pilhas de membranas é a união de todas as membranas ligadas em série aos tubos de pressão e os vários tubos de pressão por sua vez são ligados em paralelos. Dependendo da procura de água, as membranas em espiral ligam-se em série a um tubo resistente à pressão de trabalho. Para as águas salobras conseguem-se taxas de conversão da ordem dos 70-90 %. Para as águas de mar, as conversões oscilam entre 40-50%. Conseguir maiores conversões com água de mar, implicaria maior risco de incrustações, devido ao alto conteúdo em sais da salmoura. (ITC, 2019).

**Figura 11: Membranas**



**Fonte:** Fonte Própria-nova central de dessalinização do São Vicente

### 2.5. Dessalinização em cabo verde

Ao longo da sua história de Cabo verde foi marcado por falta de água. Devido a sua situação geográfica, e o aquecimento global que têm vindo a mudar o clima, a escassez de água tem feito com que fossem investidos em centrais de dessalinização para produção de água necessários para abastecer a população. A

**Figura 12: Unidade de dessalinização da água que operaram em 2000** mostra que até o ano de 2000 tínhamos centrais de dessalinização que funcionavam com processo de destilação térmica.

**Figura 12: Unidade de dessalinização da água que operaram em 2000**

Ilha	Dessalinizador	Produção m³/ano	Horas Funcionamento (h)	Prod. Nominal m³/h	Prod. Média m³/h
S. Vicente	MSF 240	157331	2992	100	52,58
	MED 2400	481197	4929	100	97,63
	MVC 1200	343540	7476	50	45,95
Total		<b>982068</b>	<b>15397</b>	<b>250</b>	<b>196,16</b>
Praia	MVC/I 1250	226953	4790	52,08	47,38
	MVC/II 1250	207143	4607	52,08	44,96
Total		<b>434096</b>	<b>9397</b>	<b>104,16</b>	<b>92,34</b>
Sal	MVC/I 500	172076	8588	20,83	20,04
	MVC/II 500	172054	8552	20,83	20,12
	MVC/II 500				
Total		<b>344130</b>	<b>17140</b>	<b>41,66</b>	<b>40,16</b>
Boavista	MVC 75	22561	7181	20,83	3,14
	MVC 300				
	OI/II	3143	1304	2,5	2,41
Total		<b>25704</b>	<b>8485</b>	<b>25,83</b>	<b>5,55</b>
ELECTRA		<b>1785998</b>	<b>50419</b>	<b>422</b>	<b>334</b>
CWCV		<b>39984,06</b>			

**Fonte:** Livro Branco de Cabo Verde, 2004.

Existe em Cabo Verde seis operadores que prestam serviço público no sector da produção da água dessalinizada para o abastecimento às populações e à indústria: Electra, S.A; Águas de Ponta Preta, Lda.; Águas do Porto Novo; Serviço Autónomo de Água e Saneamento do Maio; Serviço Autónomo de Água e Saneamento de Santa Cruz; Águas e Energia de Boavista

**Tabela 6: Produção de Água Dessalinizada - Capacidade Nominal**

LOCAL	Processo	Capacidade Nominal (m3/dia)
<b>São Vicente</b>	Osmose inversa	5400
<b>Praia</b>	Osmose inversa	7400
<b>Sal</b>	Osmose inversa	2000
<b>Total</b>		14800

**Fonte:** Livro Branco de Cabo Verde, 2013, p. 67.

Atualmente a ilha de São Vicente conta com mais uma central de dessalinização com uma capacidade de produção de 10000 m³/ dia. A produção de água dessalinizada está diretamente ligada a produção de energia elétrica, e consome cerca de 10 % da energia produzida em cabo Verde. O país é dependente da água dessalinizada que por sua vez exige um consumo energético intenso. (Ministério da Economia Crescimento e Competitividade).

Também já existe atividades de pessoas que estão apostando na dessalinização para agricultura, utilizando água salobra. É o caso do Eng. Agrônomo Adilson que tem na sua propriedade um Dessalinizador que trata água de um poço com alta percentagem de sal para depois ser utilizado no seu terreno. Segundo o mesmo com a instalação deste Dessalinizador a sua produção agrícola e pecuária aumentou consideravelmente.

**Figura 13: Dessalinizador com capacidade de 10 m<sup>3</sup>**



**Fonte:** Fonte própria

## **2.6. A dessalinização e as energias renováveis**

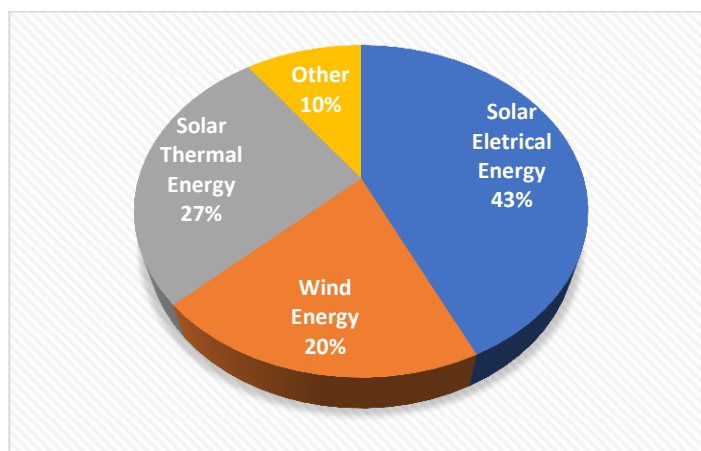
Água e energia são essenciais para a civilização e a qualidade de vida. Mas o constante aumento da população mundial, e um rápido desenvolvimento do setor da agricultura e da indústria têm feito com que a demanda por água e a energia aumente. (Ahmed; *et al*, 2017).

Para dar uma resposta a escassez de água a técnica de dessalinização tem sido uma solução muito promissora uma vez que a maior percentagem da água existente no planeta terra contem altas percentagens de sais dissolvidos o que o torna impróprio para o consumo humano. Mas a dessalinização é um processo que exige um consumo de energia intensivo o que para além de criar uma competição com outras atividades humanas ajudaria no aumento das emissões dos GEEs. (Ahmed; *et al*, 2017).

Diante dessa situação a solução encontrada está na articulação dos sistemas de dessalinização com as fontes de energia renováveis. A interligação das fontes renováveis de energia com as centrais de dessalinização tem tornado atrativamente interessante por duas razões: o aumento da demanda por água e energia, e a redução das emissões do carbono. (Ahmed; *et al*, 2017).

A dessalinização por energia renováveis (RED, sigla em inglês) tem aumentado nem todo o mundo chegando a um total de mais de 130 unidades instaladas nos últimos anos. (Hasan, 2015, *cit In* Ahmed, *et al*, 2017).

**Figura 14: Contribuição das fontes renováveis para a dessalinização no mundo**



**Fonte:** (M., Shatat, *et al*, 2013; (9):67-80.), citado por Adaptado em A. Ahmed; *et al*, 2017.

A energia solar, aproveitada nas suas mais diversas tecnologias: Fotovoltaica, concentradores solares, tem sido a fonte de maior aplicação das renováveis integrado com sistemas de dessalinização porque pode fornecer calor e energia necessária para todo o processo de dessalinização. (Ahmed, *et al*, 2017).

Um dos entraves das RED prende-se com o custo. Associado com o custo da dessalinização, a interligação com as energias renováveis, acarreta custos adicionais. Mesmo que nos últimos trinta anos o custo das centrais de dessalinização terem caídos consideravelmente a interligação com fontes renováveis continua sendo muito significativo

em comparação com as fontes fósseis. Contudo, desenvolvimento e novas pesquisas associadas com a redução do custo das renováveis pode reduzir o custo da RED. (Huttner, 2013, *cit In Ahmed, et al*, 2017).

## **2.7. Dessalinização e a agricultura**

O maior fator limitante do setor da agricultura é a água e a segurança no fornecimento no que toca a quantidade e a qualidade. Os grandes desafios em adaptar a dessalinização na agricultura são o custo inicial da dessalinização e os custos ambiental devido a rejeição da salmoura. (Salem, *et al*, 2015).

Um dos sectores de atividade humana que exige mais consume de água no mundo é a agricultura. Globalmente, a agricultura consome entre 70 % á 80 % dos recursos hídricos. (Vorosmarty *et al*, 2005; Zarzo *et al*, 2012, *cit In Salem, et al*, 2015).

A presença de sal nas águas de irrigação afeta de forma negativa o crescimento das plantas, vegetais e frutas, resultando na diminuição da plantação e da produtividade. Essa situação tem-se mostrado insustentável para o setor da agricultura e a necessidade de encontrar novas fontes de fornecimento de água torna-se muito importante. (Salem, *et al*, 2015).

As centrais de dessalinização em todo o mundo produzem cerca de 66 milhões de m<sup>3</sup> de água por dia das quais cerca de 1.9 % (1254000 m<sup>3</sup>) são utilizados na agricultura. (Desalination Yearbook 2012, *cit in Salem, et al*, 2015).

Barron *et al*. 2013, *cit In Salem, et al*, 2015, diz que a FAO, estima que 4% de toda água produzida no mundo pela dessalinização é utilizada para agricultura em países que na qual as suas economias dependem da agricultura.

## 2.8. Avaliação dos impactes ambientais

G. Meerganz Von Medeazza, 2005, *cit In* Fritzmann, *et al* 2007, argumenta que “(...) Mesmo com todas essas vantagens a dessalinização por osmose inversa, eles têm várias desvantagens sobre o seu impacto no ambiente.”

**Tabela 7: Avaliação dos impactos ambientais**

AVALIAÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS NEGATIVOS		
impacte Ambiental	Impacte Social	impacte Económico
1-Descarte de salmoura (duas vezes mais alta do que o nível de salinidade presente na água. (Salem, <i>et al</i> , 2015).	1-Emissão de ruído com o funcionamento dos equipamentos (Fritzmann, <i>et al</i> 2007, pág. 58-64).	1-Alto consumo de energia. (Fritzmann, <i>et al</i> 2007, pág. 58-64).
2-Descarte das membranas,		
3-Vazamentos da água de alimentação afetar os aquíferos, ambiente marinho		
4-A indústria da pesca, turismo sofrer com a instalação de uma central de dessalinização em um local impróprio (Fritzmann, <i>et al</i> 2007, pag. 58-64).		
5- Emissão de GEEs (Fritzmann, <i>et al</i> 2007, pag. 58-64).		
6- A qualidade e a vida marinha podem ser afetadas de várias formas pelas centrais de dessalinização. (Fritzmann, <i>et al</i> 2007).		
7-A captura da água no mar para o interior da central afeta o ambiente marinho e a vida aí existente. A salmoura produzida com alta concentração de sal e produtos químicos pode afetar a qualidade da água e da vida marinha. (Fritzmann, <i>et al</i> 2007, pag. 58-64).		

Para atenuar estes impactes deve ser dada uma atenção especial ao modo como salmoura e as membranas são descarregadas. (Medeazza, 2005, *cit In* Fritzmann, *et al* 2007).

Para produção de água doce uma central de dessalinização é necessário um alto consumo de energia que provem das centrais térmicas. Isso implica em grandes emissões de GEEs. A produção de 1 m<sup>3</sup> de água consome em torno de 3 – 4.5 KWh/m<sup>3</sup> que equivale a 1 Kg de combustível.

Para reduzir a dependência nos combustíveis fósseis, as emissões e mitigar os impactos negativos sobre o ambiente deve-se usar renováveis energias como fonte primária de alimentação da central, e apostar na eficiência dos equipamentos consumo de energia de modo a criar um projeto de dessalinização compatível com o ambientalmente. (Meerganz von Medeazza, 2005; R., Einav, *et al*, 2002, *cit In* Fritzmann, *et al* 2007).

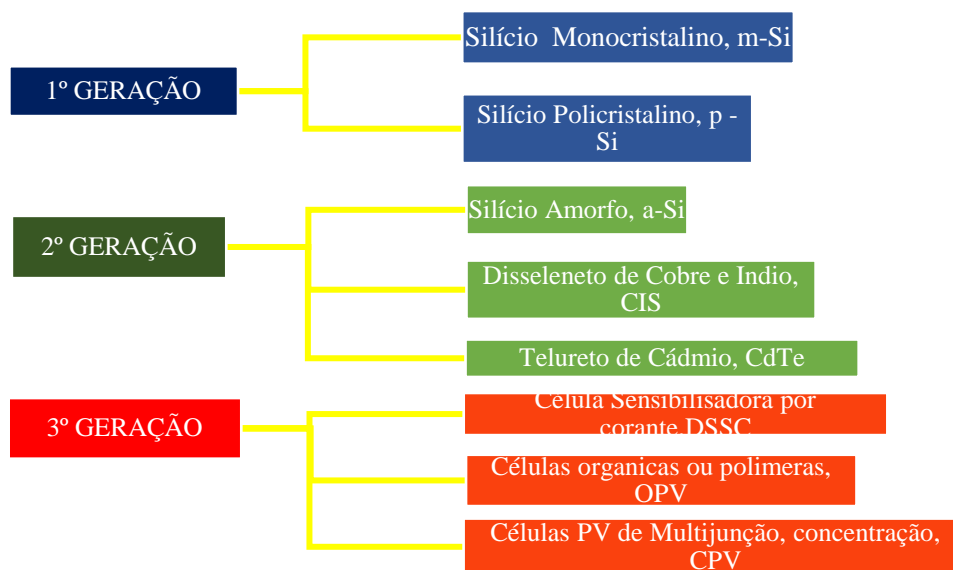
## **2.9. Energia solar fotovoltaica**

“A energia Solar Fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz solar em eletricidade (efeito fotoelétrico), sendo as células fotovoltaicas a unidade fundamental desse processo de conversão. Uma célula fotovoltaica é um dispositivo fabricado com material semicondutor, silício.” (Pinho, 2014, p. 50).

### **2.9.1. Tecnologia das células Fotovoltaica**

Na atualidade existem várias tecnologias aplicadas a produção de células fotovoltaicas, mas segundo Pinho, *et al*, 2014 podemos agrupa-los em três categorias: primeira, segunda e terceira geração. No esquema abaixo procuro fazer uma organização destas tecnologias de forma explícita.

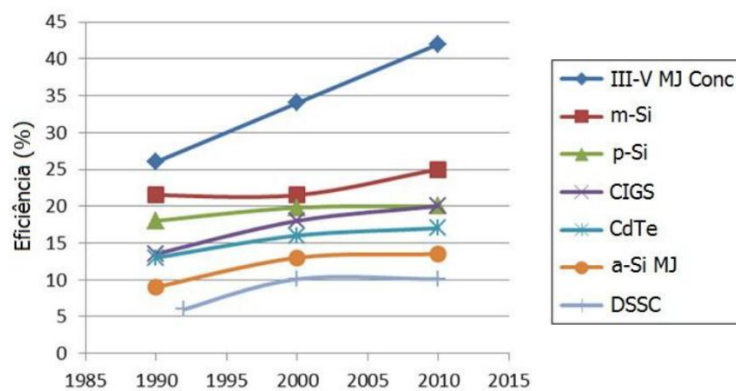
**Figura 15: organograma das tecnologias das células PV existente**



**Fonte:** Pinho, 2014, pag. 51.

## 2.9.2. Evolução das células Fotovoltaicas

**Figura 16: Evolução das células fotovoltaicas.**



**Fonte:** Pinho, 2014, pag.52.

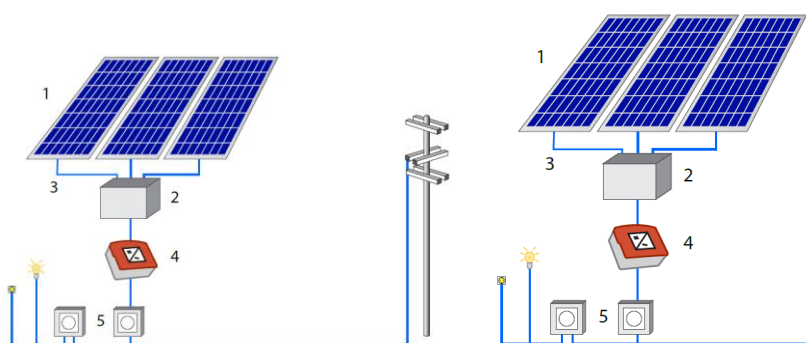


A **Figura 16: Evolução das células fotovoltaicas.** mostra a evolução da eficiência das células fotovoltaicas até o ano de 1985 até o ano de 2010 e a tecnologia de primeira geração apresenta uma eficiência que ronda os 20-25 %. Isso em ensaios laboratoriais uma vez que na prática a sua eficiência ronda os 15 %. Somado a essa eficiência está o preço relativamente baixo em relação as outras tecnologias. Os da terceira geração apresenta uma boa eficiência, mas não está sendo comercializada devido o seu alto custo por isso ainda estão na fase de pesquisa e desenvolvimento.

### 2.9.3. Sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser agrupado em três grandes grupos: Sistema on-Grid- que são conectados a rede elétrica pública, na qual o excedente produzido é injetado na rede elétrica através do medidor fazendo-o rodar ao contrario, e utilizar essa energia em forma de créditos reduzindo a tarifa de energia elétrica.; Sistemas off-Grid- na qual o sistema fotovoltaico está desconectado da rede elétrica pública, podendo funcionar com e sem sistemas de armazenamento de energia; Sistemas Híbridos que funciona com uma junção de diferentes tipos de fonte de energia (renovável e não renovável).

**Figura 17: Esquema dos sistemas on-grid e off-grid**



**Fonte:** Bluesol.com.br

**Tabela 8: Equipamentos auxiliares de um Sistema Fotovoltaico**

Sistemas fotovoltaicos	Componentes Auxiliares							
	Módulo Fotovoltaico	Interruptor principal DC	Controlador de Carga/Descarga das baterias e Acumuladores Solares	Inversor	Caixa de Junção	Cabeamento	Medidor	Equipamento de proteção AC
Sistema Off-Grid	X	X	X	X	X	X		X
Sistema On-Grid	X	X		X	X	X	X	X
Híbridos	X	X		X	X	X		X

**Fonte:** Elaboração Própria

## **2.9.4. Célula fotovoltaica**

A célula fotovoltaica é feita de material semicondutor, silício, e constitui a unidade fundamental para a conversão da energia luminosa em elétrica. Elas possuem cada uma tensão de 0,5 - 0,7 V associadas em série entre si e formando um conjunto de ramos ligados em paralelo.

### **2.9.4.1. Princípio de Funcionamento de uma Célula Fotovoltaica**

A base para a compreensão do funcionamento de uma célula fotovoltaica está na compreensão do funcionamento dos materiais semicondutores isto porque as células fotovoltaicas são feitas com materiais semicondutores. Na natureza os materiais classificados como semicondutores possuem uma região de valência totalmente preenchida com elétrons, e uma região sem elétrons, isso na temperatura de zero absoluto.

Essas duas regiões existentes nos semicondutores são separadas por uma região chamada *gap* ( $E_g$ ) que para os semicondutores possuem valores abaixo dos 3 eV (elétron volt).

Quando são expostos a uma temperatura superior aos zero kelvin a sua condutividade tende a aumentar devido a excitação térmica dos elétrons na região de valência para a região de condução. Quando essas células são expostas a radiação solar os fótons presentes na radiação solar, possuem uma energia superior as  $E_g$  dos semicondutores o que resulta na criação de pares de elétron-lacunas. Ao movimentarem dentro do material esses pares criam o efeito fotocondutivo aumentando assim a condutividade elétrica do semiconductor.

Mas para serem utilizados na produção de energia elétrica torna-se necessário doparmos esse material com impurezas dentro da sua estrutura. Os semicondutores têm a particularidade de serem tetravalentes, ou seja, possuírem quatros elétrons no seu último nível de energia que podem se ligar com outros elétrons de átomos contrários, formando uma estrutura cristalina.

Quando se introduz na sua estrutura átomos pentavalentes como o fosforo (P), por exemplo, que possuem cinco elétrons livres no seu último nível de energia, e átomos trivalentes, como é o caso do Boro (B), eles irão desestabilizar a estrutura do semiconductor, o silício (Si). Com isso têm-se uma região com excesso de elétrons e uma região com falta de elétrons.

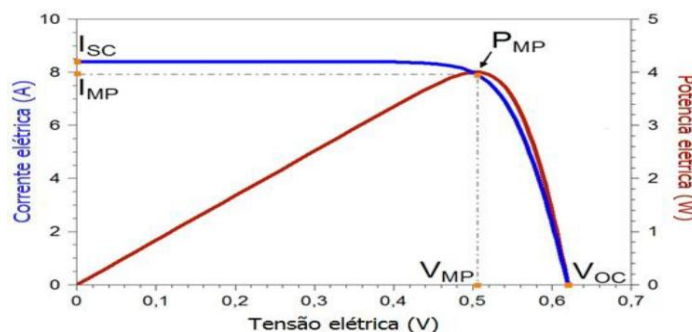
Na região com excedente de elétrons são chamados de região tipo  $n$  e na região com falta de elétrons são chamados de região tipo  $p$ . Como os elétrons em excesso na região tipo  $n$  possuem um nível de energia muito inferior ao limite da banda de condução eles podem ser facilmente libertados quando expostos a energia térmica. Já na região tipo  $p$  com falta de elétrons são fixos uma vez que possuem níveis de energia acima do limite da banda de valência.

A proporção de dopagem é feita de forma maioritário para as impurezas aceitadoras de elétrons, tipo  $p$ , e de forma oposto, minoritário para os do tipo  $n$ . Para os do tipo  $n$  a razão de proporção está em  $1: 10^7$ , ou seja, um átomo de B para 10 milhões de átomos de Si. Já a proporção das impurezas tipo  $p$  é por volta de  $1: 10^3$ . Mas esses valores são extrapolados na prática. Quando se junta ambas laminas previamente dopadas, então será criada uma região

chamada junção p-n. Nesta situação o excedente de eletrão tenderá a passar para a região de falta de eletrão até se atingir o equilíbrio formando zonas de cargas positivas e negativas. Se essa junção for colocada em contacto com a os fotões presentes na luz solar, ocorrerá a fotogeração dos pares eletrões- lacunas. Essa fotogeração quer seja feita fora ou dentro da região de carga espacial são criadas correntes fotogeradas ( $I_L$ ) que são recombinados. Com isso tem-se o surgimento do efeito fotoelétrico e para completar o processo são instaladas malhas metálicas para criar um efeito elétrico frontal na região e na região  $p$  de modo a permitir a circulação de eletrões.

#### 2.9.4.2. Características elétricas das células fotovoltaicas

**Figura 18: Curva P-V de uma célula Si- os principais parâmetros elétricos destacados.**



**Fonte:** Pinho, 2014, p. 118.

Através da curva P-V mostrada na **Figura 18: Curva P-V de uma célula Si- os principais parâmetros elétricos destacados**, fornece-nos parâmetros elétricos, tais como:  $I_{SC}$  - é a corrente de curto circuito, ou seja, é a máxima corrente que se pode obter de uma célula;  $V_{OC}$  - tensão em circuito aberto, ou seja, é a máxima tensão que uma célula pode produzir entre os terminais quando não há corrente elétrica circulando;  $I_{MP}$  e  $V_{MP}$  são, respetivamente a tensão e a corrente no ponto de potência máxima ( $P_{MP}$ ).

A tensão em circuito aberto, **Voc**, é descrito pela equação (10) de acordo com Pinho, *et al*, 2014, pág. 119.

$$V_{oc} = \frac{K \times T}{q} \times \ln\left(\frac{I_L}{I_o} + 1\right) \quad (10)$$

**Onde:**

K- Constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K)

T- Temperatura absoluta (K)

q- Carga do eletrão ( $1,6 \times 10^{-16}$  C)

$I_L$ - Corrente fotogeradas

$I_o$ - Corrente de saturação

**Fator de Forma** – é a razão entre a potência máxima ( $P_{MP}$ ) e o produto entre a corrente de curto circuito e a tensão em circuito aberto.

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} = \frac{PMP}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (11)$$

A **eficiência** ( $\eta$ ) é o parâmetro elétrico que defini o nível de eficiência do processo de conversão da energia luminosa em energia elétrica pelas células.

$$\eta = \frac{I_{sc} \times V_{oc} \times FF}{AG} \times 100\% = \frac{PMP}{AG} \times 100\% \quad (12)$$

**Onde:**

$\eta$ - eficiência da célula

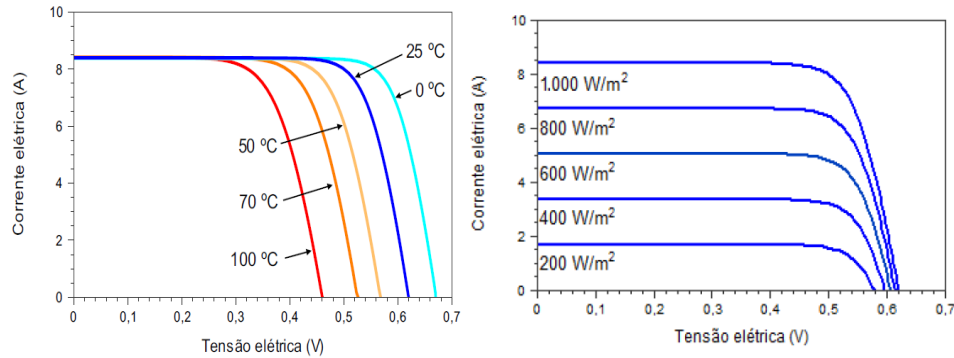
A-Área da célula ( $m^2$ )

G- Irradiância solar incidente ( $W/m^2$ )

Na curva P-V mostrada na **Figura 18: Curva P-V de uma célula Si- os principais parâmetros elétricos destacados**, pode-se determinar a potência elétrica que a célula produz. Para uma célula de silício a taxa de conversão ronda os 15% o que significa que os restantes 85% da energia luminosa é convertida em calor.

### 2.9.4.3. Fatores externos que afetam os parâmetros elétricos

**Figura 19: Fatores que limitam os parâmetros elétricos**



**Fonte:** Pinho, 2014, p. 126.

A potência gerada é diretamente proporcional ao nível de Irradiância solar na qual as células são expostas. Isso é visto na equação (13).

$$I_{sc} = I_{sc}(stc) \times \frac{G}{1000} \quad (13)$$

**Onde:**

$I_{sc}(stc)$ - corrente de curto circuito nas condições de referência;

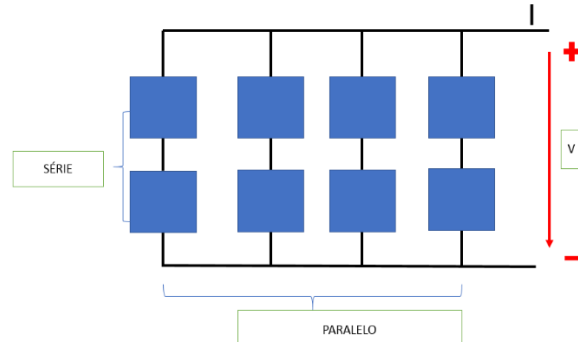
$G$ - Irradiância incidente;

1000- Irradiância nas condições de referência;

### 2.9.5. Módulos fotovoltaicos e painéis

Para satisfazer as necessidades exigidas as células são agrupadas em série e em paralelo formando módulos de modo que a potência elétrica gerada esteja nos níveis aceitáveis. Um módulo consiste num conjunto de ramos ligados em paralelo, cada um deles constituído por células ligadas em série, como mostra a **Figura 20: Disposição das células num módulo**.

**Figura 20: Disposição das células num módulo**



**Fonte:** Fonte própria, 2019.

Os módulos podem por sua vez ser associados eletricamente em série e/ou em paralelo para obter os níveis de tensão e corrente desejados na saída, formando painéis. Na associação em série o terminal positivo (macho) de um módulo é conectado ao terminal negativo (fêmea) do outro módulo de forma sucessiva até ficarem com apenas dois terminais no final que serão ligados no inversor. Conforme as equações (14) e (15), ao fazerem-se essas associações em serie as tensões das células são somadas, mantendo a mesma corrente.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots V_n \quad (14)$$

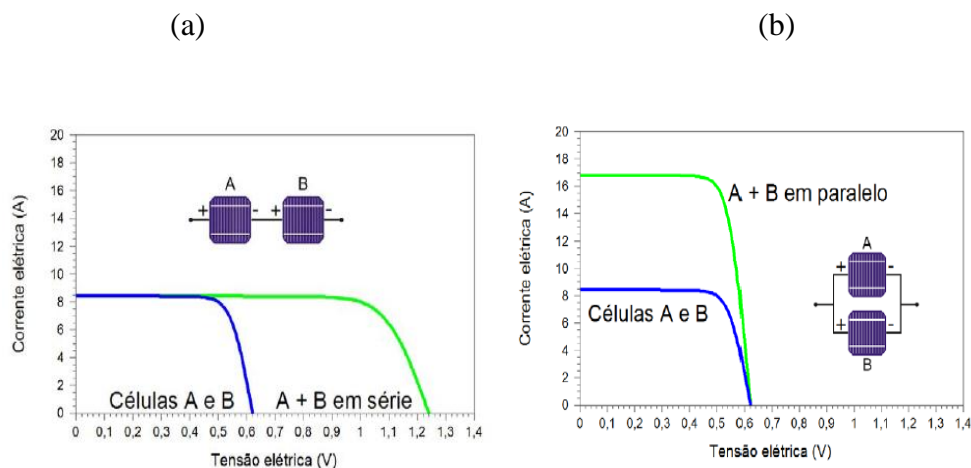
$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (15)$$

Na associação em paralelo os terminais positivos (macho) dos módulos são conectados entre se e os terminais negativos (fêmea) seguem o mesmo procedimento. De acordo com as equações (16) e (17), ao fazerem-se as associações em serie as tensões das células mantem, mas as tensões e somam-se as correntes.

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots V_n \quad (16)$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (17)$$

**Figura 21: associação em Série (a); associação em paralelo (b)**



**Fonte:** Pinho, 2014, p. 124

## 2.10. Recurso solar

Duffie, 2013, p. 25 diz que “(...) o sol é uma esfera de intenso calor de matéria gasosa, com um diâmetro de  $1.39 \times 10^9$  e está a uma distância da terra de aproximadamente  $1.5 \times 10^{11}$ .”

O Sol fornece energia na forma de radiação, que é a base de toda a vida na Terra. Devido à grande distância existente entre o Sol e a Terra, apenas uma mínima parte (aproximadamente duas partes por milhão) da radiação solar emitida atinge a superfície da Terra. Esta radiação corresponde a uma quantidade de energia de  $1 \times 10^{18}$  KWh/ano. (GREENPRO, 2004. p. 19).

### 2.10.1. Radiação solar no Mundo

Nem toda a radiação solar atinge a superfície terrestre. Parte desta radiação sofre reflexão, absorção pelas camadas do ozono, vapor de água, oxigênio, dióxido de carbono e dispersão, partículas de pó, poluição, na atmosfera. Ainda assim o recurso solar disponível é suficiente para satisfazer todas as demandas energéticas mundiais.



Segundo GREENPRO, 2004. p. 20, a quantidade de energia solar que atinge a superfície da Terra corresponde, aproximadamente, a dez mil vezes à procura global de energia. Assim, teríamos de utilizar apenas 0,01 % desta energia para satisfazer a procura energética total da humanidade.

### 2.10.2. Radiação em Cabo Verde

**Figura 22: Média anual da velocidade do vento e da radiação solar em Cabo Verde-Mindelo**

Mês	Radiação solar diária - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Velocidade do Vento m/s
Janeiro	4.63	7.3
Fevereiro	5.49	7.2
Março	6.57	6.7
Abril	7.61	6.8
Maio	7.76	6.9
Junho	7.22	6.4
Julho	6.70	5.1
Agosto	6.08	5.0
Setembro	6.02	5.6
Outubro	5.43	6.0
Novembro	4.78	6.1
Dezembro	4.27	6.7
<b>Anual</b>	<b>6.05</b>	<b>6.3</b>
<b>Fonte</b>	Solo	NASA

**Fonte:** RETScreen Expert

Em 2010 foi criado um plano estratégico para as energias renováveis de cabo verde no universo 2011-2020 onde foram identificadas zonas de desenvolvimento de energias renováveis (ZDER) e alguns projetos prioritários para serem implementados com a finalidade de aumentar a taxa de penetração das renováveis na matriz energética nacional fortemente dependente dos combustíveis fósseis.

Segundo o boletim oficial I SÉRIE-Nº 7 (2012, p.1) “(...) foram identificados em Cabo Verde um potencial de 3.000 MW de energias renováveis, tendo sido identificados mais de 500 MW de projetos concretos com custos inferiores aos dos combustíveis fósseis.” Destes 500 MW, 315 MW estão identificados na energia solar. (plano estratégico para as energias renováveis de cabo verde, 2011-2020, p. 15).

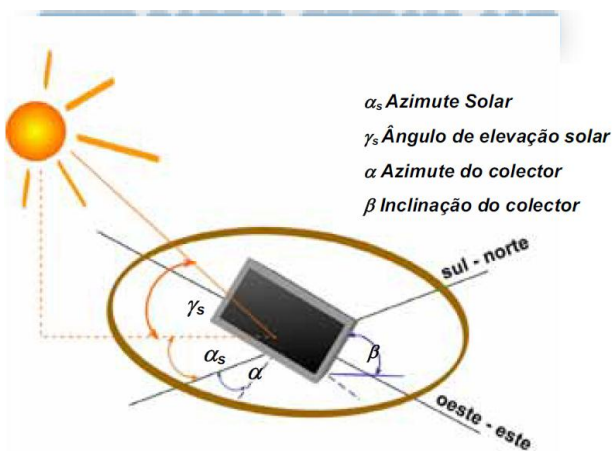
Mais informações sobre o recurso solar por favor consultar o anexo 9 e 10.

### 2.10.3. Estimativa da radiação solar

A realização de projetos de sistemas solares exige o conhecimento da energia coletada pelo pelos equipamentos, os painéis fotovoltaicos. Para isso recorre a instrumentos como o Heliógrafo (medir a duração da insolação), Piranómetros (medir a radiação total, a radiação que vem de todas as direções), Piroheliómetros (medir a radiação direta). (Duffie, 2013, p. 67- 75).

Na ausência destes pode recorrer a equações que nos fornecem informações importantes sobre o potencial energético do local.

**Figura 23: Representação dos ângulos solares**



**Fonte:** GREENPRO, 2004, pág. 23

De acordo com Duffie, 2013, p. 33, a hora solar é a hora baseado no movimento aparente angular do sol no céu ao meio-dia solar, ou seja, o tempo em que o sol cruza o meridiano do observador. Normalmente não coincide com a hora local. Para acharmos a hora solar utiliza-se a equação (18).

$$ST = \text{Tempo do Local} \pm 4 (Lst - Lloc) + E \quad (18)$$

**Onde:**

Lst = Longitude padrão

Lloc = longitude do local

E = equação do tempo

A Equação do tempo de acordo com Duffie, 2013, p. 33, encontra-se pela equação (19).

$$ET = 0,0172 + 0,43 \cos B - 7,35 \sin B - 3,35 \cos 2B - 9,4 \sin 2B(\text{minutos}) \quad (19)$$

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (20)$$

O  $n$  representa o dia juliano, que se conta de 1 a 365 a partir de 1 de janeiro,  $n=1$ , a 31 de dezembro,  $n = 365$ .

**Figura 24: Valores de  $n$  para cada mês**

Month	$n$ for $i$ th Day of Month	For Average Day of Month		
		Date	$n$	$\delta$
January	$i$	17	17	-20.9
February	$31 + i$	16	47	-13.0
March	$59 + i$	16	75	-2.4
April	$90 + i$	15	105	9.4
May	$120 + i$	15	135	18.8
June	$151 + i$	11	162	23.1
July	$181 + i$	17	198	21.2
August	$212 + i$	16	228	13.5
September	$243 + i$	15	258	2.2
October	$273 + i$	15	288	-9.6
November	$304 + i$	14	318	-18.9
December	$334 + i$	10	344	-23.0

**Fonte:** Duffie, 2013, pag. 36.

Para o cálculo da radiação solar terrestre para qualquer hora do dia basta utilizar a equação (21), de acordo com Duffie, 2013, pag. 59.

$$G_{on} = G_{sc} \left\{ 1 + 0,033 \cos \frac{360 \times n}{365} \right\} (W/m^2) \quad (21)$$

**Onde:**

$G_{sc}$  = Irradiância extraterrestre, 1300 W/m<sup>2</sup>

Tendo em mãos o valor da radiação extraterrestre pode-se calcular a radiação extraterrestre numa superfície horizontal através da equação (22).

$$G_{oH} = G_{on} \times \cos \phi \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (22)$$

Onde  $\cos(\phi)$  é dada pela equação (23).

$$\cos \theta z = \cos \delta \times \cos w \times \cos \phi + \sin \phi \times \sin \delta \quad (23)$$

Para o cálculo da radiação extraterrestre total numa superfície horizontal utiliza-se a equação (24).

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} [G_{ON}] \times \left( \cos \phi \times \cos \delta \times \cos Hss + \left( \frac{\pi \times Hss}{180} \right) \times \sin \phi \times \sin \delta \right) \quad (24)$$

A terra descreve uma trajetória elíptica a volta do sol. Durante a sua trajetória ela apresenta uma inclinação de aproximadamente 23,45<sup>0</sup>. Portanto esse ângulo de inclinação é na verdade a distância que irá existir entre o sol e a terra durante o movimento da terra em torno do sol. A compreensão desta inclinação está nas quatro estações que temos durante o ano, dependendo da nossa localização. A equação (25) de Cooper (1969), cit In Duffie, 2013, pág. 53 determina o ângulo de inclinação.

$$\delta = 23,45 \sin \left[ \frac{360}{365} \times 284 + n \right] \quad (25)$$

Podemos calcular a hora angular (h), através da equação (26).

$$h = (\text{hora local} - 12) \times 15^\circ \quad (26)$$

A determinação da hora do nascer e pôr do sol é muito importante num projeto solar, porque assim fica-se a saber qual é a quantidade real de horas de sol que tem numa dada região para depois tirarmos parâmetros como as horas de sol pico (HSP), a Irradiância, etc. Para isso determina-se o comprimento das horas solar que está compreendido entre o nascer e por do sol através da equação (27).

$$\text{Comp. hora solar} = \frac{2}{15} \times \cos^{-1}([- \tan \Phi] \times \tan \delta) \text{ (horas)} \quad (27)$$

Uma vez conhecido o comprimento das horas de insolação basta descobrir o ângulo de nascer do sol. Para isso recorre a equação (28).

$$Ws = \cos^{-1}([- \tan \Phi] \times \tan \delta) \quad (28)$$

Na posse da equação (28) basta aplicar a equação (29).

$$Pôr\ de\ sol = \frac{1h \text{ } 15^0}{X \text{ } Ws} \quad (29)$$

Por fim basta subtrair por 12 horas. Com essas equações pode determinar os parâmetros mais importantes para a estimativa do recurso solar de um determinado lugar. Para facilitar os cálculos o valor vem já tabelados.

## 2.11. Avaliação dos impactes ambientais

Gunerhan *et al* (2009, p.1) por sua vez argumenta que, “(...) as tecnologias de energia solar oferecem uma energia limpa, inesgotável e doméstica fonte de energia, (...). É um sistema conhecido por ter alguns pequenos impactes sobre o ambiente durante a sua operação e produção.”

### 2.11.1.Impactes positivos

**Tabela 9: Impactes Positivos**

Avaliação dos Impactes	
Ambientais	Económicos/Social
Redução das emissões dos gases de efeito de estufas (CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ) e prevenção de emissões de gases tóxicos (SO <sub>2</sub> e particulados);	Aumenta a independência energética regional/ nacional;
Redução das linhas de transmissão	Criação de oportunidades de trabalho;
Redução da degradação do solo	Aceleração na eletrificação das regiões de difícil acesso.
	Diversificação e segurança no fornecimento de energia;

### 2.11.2.Impactes Negativos

**Tabela 10: Impactes Negativos**

Utilização do solo		Descarte de Poluentes	
1-Pode afetar a áreas protegidas e a biodiversidade;	2- Impactes na fase de construção;	1-Pequenas quantidades de substâncias toxicas presente nas células quando expostas a altas temperaturas podem contaminar o solo (Gunerhan <i>et al</i> 2009, in Tsoutsos <i>et al.</i> , 2005);	
3- Construção das centras em solos aráveis pode danificar o solo e competir com o setor de produção de alimentos. (Tsoutsos <i>et al.</i> , 2005).			
4- A produção de calor destrói algumas espécies que vivem nesses ambientes.			
5- O transporte dessa energia produzida pode causar poluição radioativa que pode acabar com a rota migratória das aves que passam no local. (Gunerhan <i>et al</i> 2009).			
		2- Ao mau manuseamento dos matérias de armazenamento (baterias). (Tsoutsos <i>et al.</i> , 2005).	
Esgotamento dos Recursos Naturais		Impacte Visual	
1- Alto consumo de energia para a produção de células fotovoltaicas;	2-As necessidades de grandes quantidades de matérias; (Tsoutsos <i>et al.</i> , 2005).	1- Se forem instalados e locais inapropriados (áreas sensíveis, zonas protegidas, perto de locais com circulação de pessoas, aviões, etc.) pode causar muitos impactes negativos, com a reflexão da luz nos módulos podendo causar acidentes, enganas as aves que por ali passam, etc.	

### 3. CAPÍTULO III- CASO DE ESTUDO

#### 3.1. Caraterização da área escolhida

##### 3.1.1. Apresentação e Enquadramento

O seguinte projeto destina-se ao dimensionamento de um sistema de osmose reversa para tratamento de água salobra utilizando energia solar fotovoltaica para fins de utilização na agricultura e na pecuária. O local da implementação do projeto será na Aldeia SOS de Mindelo, situado na Ribeira de Julião caminho para o calhau.

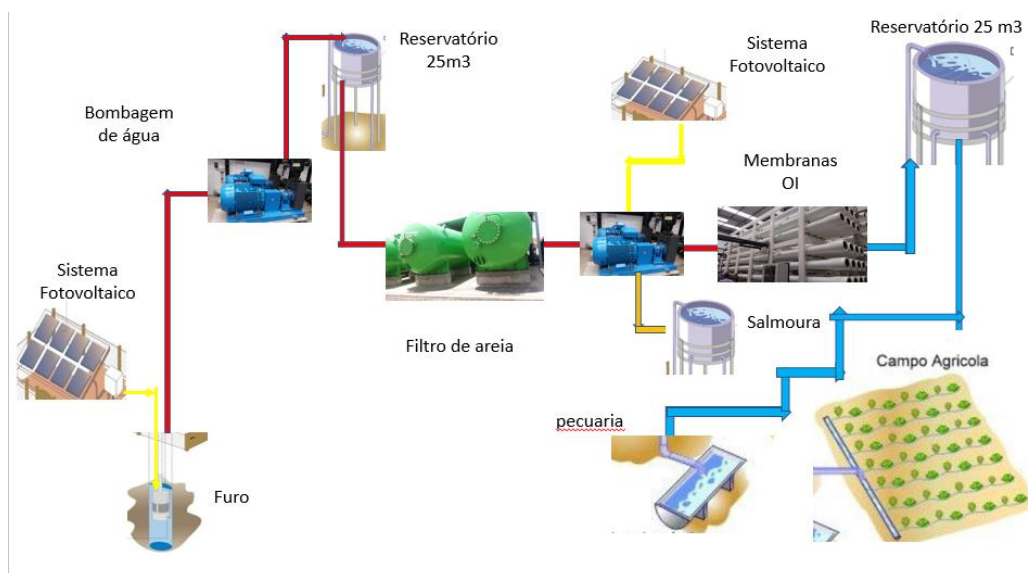
**Figura 25: localização do projeto**



**Fonte: Google Map, 2019.**

A finalidade do projeto é dessalinizar a água proveniente do poço e aplica-lo na irrigação e na pecuária. Para isso será dimensionado um sistema de captação da água e o seu transporte até o reservatório. Posteriormente será dimensionado um sistema de dessalinização da água por osmose inversa. Será feito o dimensionamento do sistema fotovoltaico para o fornecimento de energia para alimentação dos equipamentos de bombagem da água e dessalinização. Será feito uma análise dos seus impactes e por fim um estudo financeiro da viabilidade económica do projeto.

**Figura 26: Esquema do projeto**



**Fonte: Elaboração própria, 2019**

Após estimar a quantidade de água necessária para suprir toda a demanda do projeto serão dimensionados os sistemas de dessalinização e o sistema fotovoltaico. Segundo Pinho, *et al*, 2014, para cada um hectare de terreno para horticultura serão necessários 25m<sup>3</sup> de água o que equivale a um caudal diário de 25m<sup>3</sup>.

$$Q = \sum \text{consumo animal} + \text{consumo de cultivo} \quad (30)$$

**Tabela 11: estimativa do consumo de água**

CONSUMO ANIMAL	Litros/ dia/cabeça
Caprino	5
Suíno	15
Galinha	0,15
CULTIVO	Litros/ dia/ hectare
Horta	25000

**Fonte: Pinho, 2014 p. 319.**



**Tabela 12: Demanda real de água do projeto**

CONSUMO ANIMAL	Litros/ dia/cabeça	Quantidade	Q (m <sup>3</sup> /dia)
Caprino	5	100	0.5
Suíno	15	100	1.5
Galinha	0,15	500	0.075
CULTIVO	Litros/ dia/ hectare		
Horta	25000	500 m <sup>2</sup>	1,5
Mangueira	20	100	1
Outros	10	100	1
Total			5.575

Serão necessários 5.575 m<sup>3</sup> por dia para satisfazer a demanda de água do centro. Um reservatório com uma capacidade de 15 m<sup>3</sup> de água será necessário para termos uma certa reserva de stock de água para eventuais avarias ou manutenção do sistema de tratamento de água. O Dessalinizador será dimensionado para ter uma taxa de conversão de 55%, ou seja, para cada 1 m<sup>3</sup> de água salobra proveniente do furo, apenas 55%, 550 litros, dessa quantidade será utilizada para as atividades previstas no centro e o resto, salmoura, será armazenado num depósito de 25 m<sup>3</sup> e posteriormente depositado no mar.

Uma vez determinado a demanda diária de água a etapa seguinte é o cálculo da altura manométrica corrigida ( $H_{mc}$ ) através da equação (31)

$$H_{mc} = H_m + H_t + H_c \quad (31)$$

**Onde:**

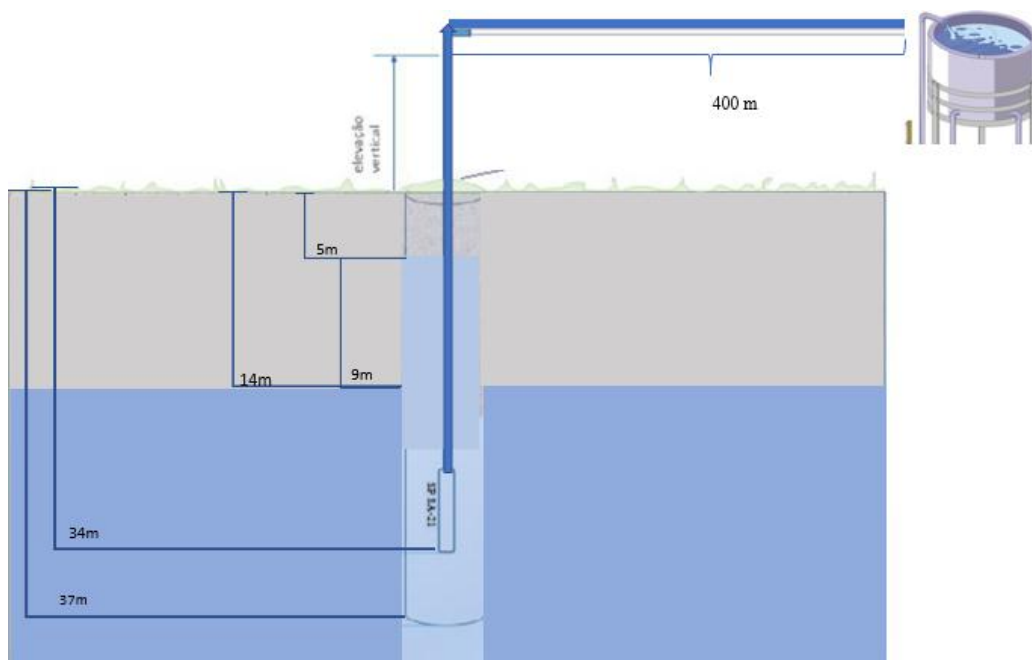
**$H_{mc}$** - altura manométrica corrigida (m);

**$H_m$** - altura manométrica

**H<sub>t</sub>**- perdas de carga nas tubulações (m)

**H<sub>c</sub>**- perdas de carga nas conexões (m).

**Figura 27: desenho do furo em questão, destacando os principais parâmetros**



**Fonte: MDR, 1997.**

Desde o nível do solo até o ponto mais alto do reservatório temos uma altura de 13 m e a altura entre o nível do solo e o nível da água durante a bombagem (nível dinâmico) é de 14 m. Com isso temos que a altura manométrica (H<sub>m</sub>) é de 27 m. Na posse deste valor podemos calcular a altura manométrica corrigida (H<sub>mc</sub>).

O comprimento total da tubulação é de aproximadamente 700 m, desde o fundo do poço onde se encontra a bomba submersa (34 m) até o reservatório (650). É só calcularmos o L<sub>corrigido</sub> que irá somar com as perdas nas tubulações. Pelos dados da tabela de perdas de carga nas conexões para tubo de diâmetro 63 mm presente no anexo 1 temos a seguinte equação(32).

$$\begin{aligned}
L_{\text{corrigido}} &= L_{\text{Tubulação}} + L_{\text{Válvula}} + L_{\text{joelho}} & (32) \\
L_{\text{corrigido}} &= 700 + (1 \times 2,134) + (6 \times 1,067) \\
L_{\text{corrigido}} &= 708,54 \text{ m}
\end{aligned}$$

Na posse da vazão média ( $3\text{m}^3/\text{h}$ ), o diâmetro (63 mm) basta consultar a tabela de perdas de em tubulações para cada 100m e encontramos o valor de 0,18.

$$\begin{aligned}
H_t &= 0,18 \times \frac{708,54}{100} = 1,27 & (33) \\
H_t &= 1,27 \times 7 = 9 \text{ m}
\end{aligned}$$

Na posse destes valores basta calcularmos o Hmc pela equação (31).

$$H_{mc} = 27 + 9 = 36 \text{ m}$$

O passo seguinte após conhecermos o valor do Hmc é a escolha da eletrobomba que será visto mais a baixo.

### 3.2. Abertura de valas

Serão abertas valas para assentamento da tubagem com uma largura mínima de 0,5 m e uma profundidade variável entre 0.80 m a 1.2 m, consoante o traçado do perfil longitudinal do terreno.

#### 3.2.1. Assentamento de tubos

Serão lançados um total de 300 m de tubo de 63 mm desde o lugar da bombagem até a primeira subida. Posteriormente será utilizado um total de 250 m de tubagem de 50 mm desde a primeira subida até o reservatório. As tubagens de distribuição de água serão assentes no fundo das valas, bem regularizadas, em terreno brando. Em caso de terreno rochoso, o assentamento de tubo deverá ser feito no fundo das valas sobre uma camada uniforme de areia com espessura de 0.2 m. Serão lançados cerca de metros de 100 m de

tubo PE, DN 32 para as ligações de água curral dos animais. Serão colocados 500 m de tubos para irrigação gota-a-gota da horta.

### **3.2.2. Aterro de valas**

Antes do aterro final, a tubagem será coberta com um manto de areia com espessura de 0.2 m. A conclusão do aterro será feita com material local, bem compactado.

### **3.2.3. Camaras de derivação, ventosa e descargas de fundo**

Serão instaladas camaras de derivação de água, bem como camara de ventosa e de descargas de fundo, em alvenaria de blocos, situadas respetivamente em pontos de cotas mais altas e nas cotas mais baixas da tubagem, onde alojar-se-ão as válvulas de acordo com o perfil do trajeto. De acordo com a tabela de perda de carga unitária podemos encontrar os valores encontrados no anexo 1.

## **3.3. Dimensionamento do sistema de canalização e bombagem**

O sistema de captação de água consiste no aproveitamento do furo FV-37, com caudal de 6 m<sup>3</sup>/h, com uma capacidade de exploração de 50 m<sup>3</sup>/dia. O furo está alojado em um abrigo construído em alvenaria de blocos e coberto de betão armado, onde se encontram instalado válvulas de comando, contadores, entre outros dispositivos necessários ao funcionamento da bomba. Por outro lado, o abrigo está dotado de instalação elétrica trifásica que será substituído por painéis fotovoltaicos.

**Figura 28: Abrigo do furo FV-37 em Ribeira de Julião**



**Fonte: Fonte Própria**

**Tabela 13: Caraterísticas e dimensões da tubagem**

Local/troço	Conduta	Caraterísticas de tubagem		
		Tipo	Diâmetro (mm)	Comprimento(m)
Bombagem até a 1ª subida	Principal	PEH	63	400
1ª subida até o reservatório	Secundário	PEH	50	250
Reservatório até os corrais	Principal	PEH	32	100
Irrigação na horta: Tubo gotejador 20 cm, rolo de 400 m	Principal	PEH		500
Total instalação de tubagem				1250

### 3.3.1. Cálculo do diâmetro do tubo

Para o devido cálculo do diâmetro do tubo usaremos a fórmula abaixo.

$$\theta = 1,3 \times X^{1/4} \times Q^{1/2} \quad (34)$$

**Onde:**

$\theta$ = Diâmetro

X= número de horas de funcionamento do sistema durante um dia.

Q= Caudal extraído do poço (m<sup>3</sup>/h).

$$\theta = 1,3 \times \left(\frac{7}{24}\right)^{1/4} \times 3^{1/2} = 52 \text{ mm}$$

De acordo com os dados propostos o diâmetro proposto para a instalação do sistema de bombagem será de 52 mm, mas como não temos este diâmetro no mercado utilizaremos um diâmetro de 63, por questões de segurança. Dados referentes a perda de carga nas tubulações estão na tabela presente no anexo 1.

**Tabela 14: Determinação dos parâmetros hidráulicos**

Percurso	D(mm)	Q(l/s)	J (m/m)	V (m/s)	Re
Bombagem até a 1ª subida	63	0,8	0.0019	0,27	$168 \times 10^5$
1ª subida até o reservatório	50	0,9	0,00534	0,4	$198 \times 10^5$

### 3.3.2. Estimativa do consumo do Sistema

De acordo com a demanda de água necessária para o projeto e tendo em conta a altura manométrica corrigida ( $H_{mc}$ ) de 36m, foi consultado a tabela de curva de bombas submersíveis funcionando com energia solar da marca NASTEC. Foi selecionado bomba solar do modelo 4HS 08/03 MultiPower com uma potência de 1,8 Kw. De acordo com a curva de performance da bomba para a nossa altura manométrica de referência e a potência escolhida, ela tem um caudal de até  $6 \text{ m}^3/\text{dia}$ . Para o nosso caso precisamos apenas de um cauda diário ( $Q_m$ ) de  $3 \text{ m}^3/\text{dia}$ .

De acordo com a tabela de curva da bomba presente no anexo 4, para um caudal de  $3 \text{ m}^3/\text{dia}$  e uma  $H_{mc}$  de aproximadamente 45 m temos uma potência de 1000 w. A escolha recaiu sobre uma potência de 1800 W devido as condições técnicas e disponibilidade no mercado. Segundo o catálogo da bomba ela não precisará de um inversor, mesmo trabalhando com painéis fotovoltaicos, situação essa que simplifica o seu funcionamento e reduz o preço na aquisição de mateiras.

Convém salientar que no local da instalação já possui um eletrobomba da marca GRUNDFOS SP8A de 2,2 Kw que será substituída pela bomba solar da marca NASTEC, modelo 4HS 08/03 de 1,8 Kw proporcionando maiores vantagens técnicas e financeiros.

**Tabela 15: Dados elétricos da Eletrobomba**

Código	Modelo	Tensão (V)	Max. Corrente	Potência ( Kw)	Altura Manométrica máximo (m)	Q (M³/h)
3013040110	4HS 08/03	90- 400 V <sub>DC</sub> /90-	16 (V <sub>DC</sub> )	1,8	35	8
		265 V <sub>AC</sub>	16 (V <sub>AC</sub> )			

**Fonte:** solar.naste.eu

Cálculo da Energia Elétrica do sistema fotovoltaico

$$E_{eletrica} = P_{eletrobomba} \times tempo\ de\ funcionamento \quad (35)$$

$$E_{el} = 1,8 \times 7 = 13\ KWh/dia$$

Cálculo da Potência Elétrica do sistema

$$P(wp) = 1.25 \times \frac{E_{el}}{HSP \times \eta} \quad (36)$$

$$P(wp) = 1.25 \times \frac{13}{7 \times 0,80} = 3Kwp$$

Cálculo Número de Módulos Fotovoltaicos

$$N^{\circ}\ modulos = \frac{P_{el}}{P\ Fv} \quad (37)$$

$$N^{\circ}\ modulos = \frac{3\ Kwp}{280} = 11\ módulos$$

**Tabela 16: Caraterística do Módulo**

CARACTERISTICAS DO MÓDULO	
Marca	MEPV
modelo	Eurener
Tipo	Policristalino
Potência máxima STC (Pmax)	280 W
Tensão de operação (Vmp)	31,5 V
Corrente de operação (Imp)	8,85 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	39,1 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9,25 A
Eficiência do módulo	17%
Tensão máxima	1000 V

A grande vantagem deste eletrobomba é que ela dispensa a utilização de um inversor para fazer a conversão DC-AC. Isso significa uma redução nos custos da aquisição do inversor. Em comparação com a eletrobomba existente no poço o investimento seria maior quer para o inversor quer para aquisição de mais módulos fotovoltaicos.

Dimensionamento do cabo principal DC

$$A_{dc} = \frac{2 \times L_{dc} \times I_n^2}{(FP \times P_{pv} - PM) \times K} \quad (38)$$

$$A_{dc} = \frac{2 \times 40 \times 8,85^2}{(40 - 1\% \times 280) \times 56} = 3mm^2 \cong 6 mm^2$$

Dimensionamento do cabo de alimentação AC

$$A_{ac} = \frac{\sqrt{3} \times L_{ac} \times I_n(ac) \times \cos \theta}{3\% \times U_n \times K} \quad (39)$$



$$A_{ac} = \frac{\sqrt{3} \times 70 \times 22 \times 1}{3\% \times 230 \times 56} = 10 \text{ mm}^2$$

### **3.4. Dimensionamento do sistema de Dessalinização**

#### **3.4.1. Escolha a tecnologia**

A tecnologia de dessalinização escolhida é a osmose inversa por ser mais barata, apresenta melhores desempenho de funcionamento, pouca manutenção, apenas para lavagem e substituição das membranas e é a que está mais difundida no mundo todo e também em Cabo Verde.

#### **3.4.2. Escolha a membrana**

O sistema será constituído por cinco membranas de modelo TM720D-400, feita pela empresa chinesa Zhuhai Wangyang Treatment. A membrana de osmose inversa é composta de múltiplas camadas de material polietileno que é permeável a água e impermeável a saís dissolvidos na água. A escolha recaiu sobre esta membrana devido ao fato de apresentar todas as características necessárias para um funcionamento dentro da normalidade e de acordo com as necessidades de água.

Será utilizado cinco membranas com uma eficiência de remoção de sal de 99 % e uma taxa de conversão de 55 %. Essas caraterísticas vão de acordo com as necessidades deste projeto. No anexo 5 está a tabela de paramentos básicos da água e algumas especificações sobre a qualidade da água de alimentação, água salobra, que definiram a escolhas das membranas.

**Tabela 17: Descrição da Membrana**

Material	FRP
Especificação	8040
Quantidade	5
Modelo	TM720D-400
Nome do Fabricante	Toray

**Fonte: Zhuhai Wangyang Treatment**

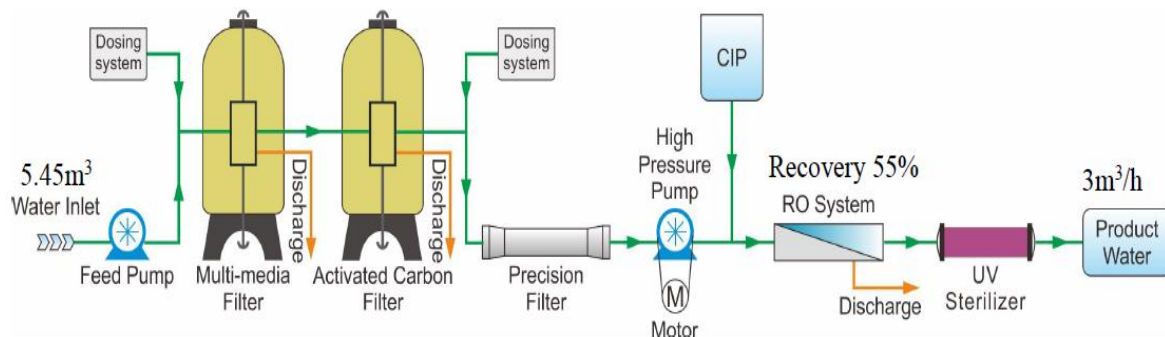
A importância de incorporarmos um sistema de dessalinização neste projeto deve-se ao fato da água retirada do poço, segundo as análises feitos pela ANAS, contem alto teor de sal, salobra, que se estivesse em contacto direto com o solo e com as plantas danificariam as mesmas.

**Tabela 18: Composição da água do furo 37**

Qualidade	Quantidade
Condutividade	3650 PPM
Dureza	653 mg/l
Cálcio	1250
Ph	7,2
Cloreto	168

De acordo com o datasheet, anexo 5, o sistema de dessalinização será dimensionado para converter 55 % do total da água que passa pelas membranas, ou seja, em cada 1 m<sup>3</sup> de água salobra o sistema fornece 550 litros de água doce para uso na irrigação e alimentação dos animais. As membranas terão a capacidade de converter 3 m<sup>3</sup> de água por hora o que nos dá um total de 14 m<sup>3</sup> de água por dia, quantidade suficiente para satisfazer toda a demanda e ainda ficar com um stock em caso de alguma avaria.

**Figura 29: Esquema de dessalinização**



**Fonte: Zhuhai Wangyang Treatment ([www.zhwywater.com/en](http://www.zhwywater.com/en)).**

### **3.5. Dimensionamento fotovoltaico**

#### **3.5.1. Escolha a tecnologia**

A tecnologia solar que será utilizada neste projeto é a solar fotovoltaica, utilizado módulos solares fotovoltaicos de 280 W policristalino. A escolha recai sobre este tipo de módulo por ser a mais difundida no mercado Cabo-verdiano e pela grande vantagem de haver uma empresa cá na ilha que comercializa e instala esse modelo de módulos.

#### **3.5.2. Estimativa do consumo do Sistema**

##### **Cálculo Número de Módulos Fotovoltaicos**

De acordo com o catálogo dos equipamentos do sistema de dessalinização têm as seguintes potências.

**Tabela 19: Especificação eléctrica dos equipamentos de dessalinização**

Especificação	Potência (Kw)	Tempo de funcionamento	Energia consumida (KWh/d)
Bomba de alimentação	1.1	7	7.7
Bomba de alta pressão	5.5	7	38,5
Esterilizador UV	0,5	7	3,5
Total	7,1		50

**Fonte:**

Na posse desses valores podemos calcular a potência total dos módulos de geração do sistema fotovoltaico em  $Kwp$  pela equação abaixo.

$$P_{\text{módulo}} = \frac{E_{\text{eletrica}}}{HSP \times \eta} \quad (40)$$

$$P_{\text{módulo}} = \frac{50}{7 \times 0,80} = 9Kwp$$

Número de Módulos Fotovoltaico (basta utilizar a (37)).

$$N^{\circ} \text{modulos} = \frac{P_{el}}{P_{Fv}}$$

$$N^{\circ} \text{modulos} = \frac{9 Kwp}{280} = 32 \text{modulos}$$

Dimensionamento do Inversor

$$\text{Potência} = 0,7 \times P_{Fv} < P_{inv} < 1,2 \times P_{Fv} \quad (41)$$

$$0,70 \times 9 < P_{inv} < 1,20 \times 9$$

$$6,3 Kwp < P_{inv} < 11 Kwp$$

Número máximo de módulo por fileiras

$$N^{\circ}max = \frac{Umax(inv)}{Uoc (+10)} \quad (42)$$

$$Uoc = 1,05 \times Uoc(cts) = 1,04 \times 39,75 = 41,34 V$$

$$N^{\circ}max = \frac{1000}{41,34} = 24 \text{módulos}$$

Número mínimo de módulo por fileiras

$$N^{\circ}min = \frac{UMPP(inv(min))}{UMPP (Pv + 40)} \quad (43)$$

$$UMPP (Pv + 40) = 0,92 \times Uoc = 0,92 \times 37,4 = 34,4 V$$

$$N^{\circ}min = \frac{150}{41,34} = 4 \text{ módulo}$$

Número de fileiras

$$N^{\circ}fileiras = \frac{Imax (inv)}{In(fileira)} \quad (44)$$

$$N^{\circ}fileiras = = \frac{20}{8,15} = 3 \text{ filerias}$$

Dimensionamento do cabo de alimentação AC

$$AM = \frac{2 \times L \times Ifi}{1\% \times Umpp \times K} \quad (45)$$

$$AM = \frac{2 \times 20 \times 8,85}{1\% \times (16 * 30,7) \times 56} = 2,5 \text{ mm}^2 \cong 6 \text{ mm}^2$$

Perdas totais nos cabos

$$PM = \frac{2 \times N \times L \times Ifi^2}{AM \times K} \quad (46)$$

$$PM = \frac{2 \times 3 \times 20 \times 8,85^2}{6 \times 56} = 28W$$

Dimensionamento do cabo principal DC

$$Adc = \frac{2 \times Ldc \times In^2}{(FP \times Ppv - PM) \times K} \quad (47)$$

$$Adc = \frac{2 \times 15 \times 8,85^2}{(1\% \times 250 - 28) \times 56} = 2,5mm^2 \cong 6mm^2$$

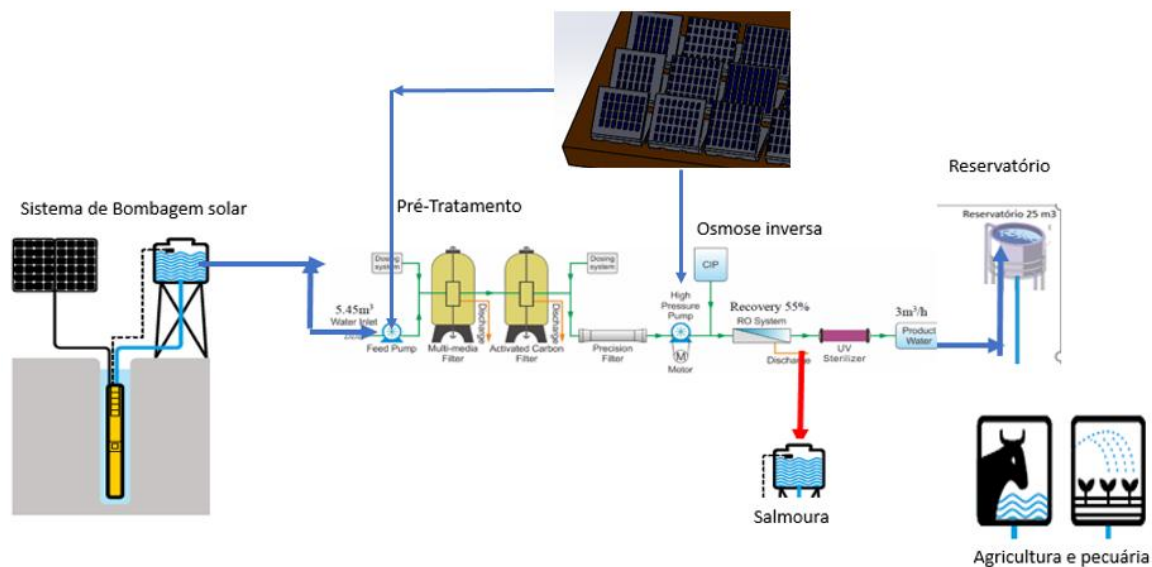
Dimensionamento do cabo de alimentação AC

$$Aac = \frac{\sqrt{3} \times Lac \times In(ac) \times \cos \theta}{3\% \times Un \times K} \quad (48)$$

$$Aac = \frac{\sqrt{3} \times 100 \times 22 \times 1}{3\% \times 230 \times 56} = 10 mm^2$$

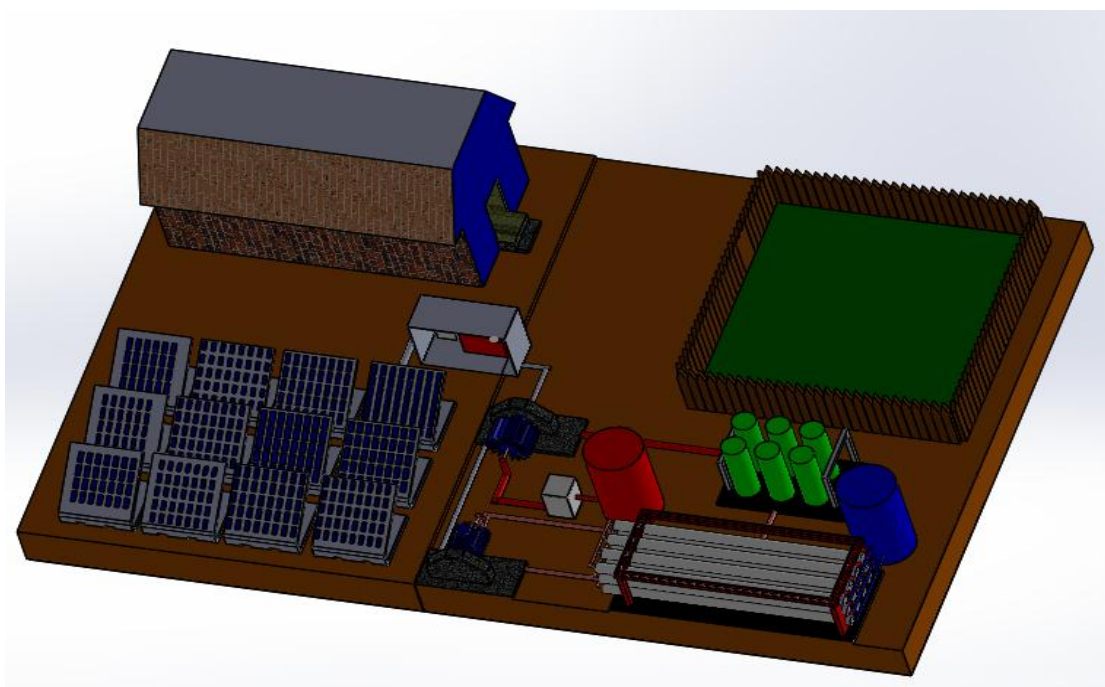
### 3.6. Desenho técnico

### 3.7. Figura 30: Esquema completo do Sistema



Fonte: Elaboração Própria

Figura 31: Maquete do sistema feito em solidWorks



Fonte: Elaboração Próprio

## 4. CAPÍTULO IV

### 4.1. Apresentação dos resultados

Após todos os procedimentos para a determinação de todos os parâmetros elétricos, mecânico e hidráulico, será apresentado os resultados obtidos em forma de tabelas de forma a torna a compreensão mais acessível.

**Tabela 20: Resultados dos parâmetros hidráulicos (bombagem)**

Altura manométrica corrigida	Reservatório m <sup>3</sup>	Q (m <sup>3</sup> /h)	Poço até 1º subida (mm)	1ºsubida até Reservatório (mm)	Nº módulo	Cabo de alimentação AC	Cabo de comando (m)	Cabo 3x6mm mt
36m	15	3	63	50	11	10 mm	500	50

**Tabela 21: Resultados dos parâmetros elétricos e mecânicos da dessalinização**

Potência Dessalinizador (Kw)	Energia (KWh)	Pot. PV (Wp)	Nº modulo	Cabo DC mm	Cabo AC mm	Taxa de conversão %	Eficiência %	Potência inversor Kw	Nº Fileira
7.1	50	9	32	6	10	55	99	12	3

### 4.2. Análise económica

#### 4.2.1. Analise económica de sistema de bombagem

**Tabela 22: Analise económica de sistema de bombagem**

Nº	Designação	Quant	Preço Unit	Montante (escudos)	Montante (Euro)
<b>2</b>	<b>Gerador fotovoltaico e instalação DC</b>				
2.1	Estrutura em alumínio para painéis solar com triangulo 15° (fixa o módulo fotovoltaico no telhado). Inclui todos os necessários acessórios dos quais se destacam o	11	18,500,00	203,500,00	1,850,00



	encaminhamento do cabo principal DC, e a respetiva impermeabilização do telhado. Painei Módulo Fotovoltaico 280WP Eurener				
<b>3</b>	<b>Acessórios</b>				
<b>3.1</b>	Cabo 3x6mm mt	50	1,500,00	75.000,00	682,00
<b>3.2</b>	Cabo comando mt	500	150,00	75,000,00	682,00
	material de consumo vários	1	30.000,00	30.000,00	273,00
<b>2.6</b>	Mão de obra: Automatic Life		70,000,00	70,000,00	636,00
<b>3</b>	Bomba Nastec 4HS 08/03MP	1	180,000,00	180,000,00	1,636,00
			<b>Total</b>	<b>633,500,00</b>	<b>5,759,00</b>
<b>6</b>	<b>Imprevistos</b>	10%	<b>TOTAL</b>	<b>696,850,00</b>	<b>6,335,00</b>

#### 4.2.2. Orçamento da dessalinização

**Tabela 23: Análise económica da dessalinização**

Nº	Designação	Quant	Preço Unit	Montante (escudos)	Montante (Euro)
<b>7</b>	<b>Sistema de Dessalinização OR</b>				
<b>7.1</b>	Estrutura de proteção do sistema (betão): edifício de 10 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>		55,000,00	500,00
<b>7.2</b>	Bomba de alimentação	1			
<b>7.3</b>	Filtro de carvão ativado	1			
<b>7.4</b>	Filtro de pressão	1			
<b>7.5</b>	Bomba de alta pressão	1			
<b>7.6</b>	Membrana da OR	5			
<b>7.7</b>	Esterilizador UV	1		2,105,400	19,140,00
			<b>Total</b>	<b>2,160,400</b>	<b>19,640,00</b>
<b>8</b>	<b>Ligação do Dessalinizador ao sistema Fotovoltaico</b>				
<b>8.1</b>	Fornecimento e montagem da estrutura de suporte de alumínio perfilado (fixa o módulo fotovoltaico no telhado). Inclui todos os necessários acessórios dos quais se destacam o encaminhamento do cabo principal DC, e a	32	21.000,00	672,000,00	6,109,00

	respetiva impermeabilização do telhado. Módulo Fotovoltaico 280WP Eurener.				
9	<b>Inversor DC-AC</b>				
9.1	Inversor de rede trifásico 12KW (Solax 3 12.0-P-T-D	1	180,000,00	180,000,00	1,636,00
9.2	Acessórios Fotovoltaico para as conceções DC e AC bem como o equipamento de proteção do módulo e do inversor		150,000,00	150,000,00	1,364,00
9.3	Solax X3 - NFI Monitorização e exportação zero e Smart meter.	1	19,000,00	19,000,00	173,00
9.1	Mão de Obra: Automatic Life		100,000,00	100,000,00	909,00
10	<b>Total</b>			<b>1,121,000</b>	<b>10,019,00</b>
11	<b>TOTAL</b>			<b>3,281,400</b>	<b>29,830,00</b>
12	<b>Imprevistos</b>	10%	<b>TOTAL</b>	<b>3,609,540</b>	<b>32,814,00</b>

#### 4.2.3. Orçamento da abertura das valas

**Tabela 24: Orçamento da abertura das valas**

Nº	Designação	Quant	Preço Unit	Montante (escudos)	Montante (Euro)
<b>11</b>	<b>Movimentação de terra:</b>				
11.1	Escavação da vala para assentamento do tubo	500 m	500,00	250,000,00	2,273,00
11.2	Colocação almofada de areia no fundo de vala para assentamento e recobrimento de tubo	300 m	1000,00	300,000,00	2,727,00
11.3	Aterro da vala	500 m	150,00	75,000,00	682,00
			<b>Total</b>	<b>625,000,00</b>	<b>5682,00</b>
<b>12</b>	<b>Aquisição de tubagens e acessórios diversos de polietileno</b>				
12.1	Válvula de Esfera junta rápida	2	2312	4624	42,00
12.2	Válvula de Retenção (2'')	1	2000	2000,00	28,00
12.2	Tubo PEBD PN4/cm DN63mm (2'') rolo de 100m	4	20,000,00	80,000,00	727,00
12.3	Tubo PEBD PN4/cm DN50mm (1 1/2'') rolo de 100m	2,5	12,750,00	31,875,00	289,00
12.4	Tubo PEBD 4 Kg/cm 1 1/2, DN32mm, rolo de 50 m	1	6,500,00	6,500,00	59
12.5	Tubo gotejador 20 cm, rolo de 400m	1,25	11,500,00	14,375,00	131,00
12.6	Tubo Got Turbul Ceopdrip 16mm, rolo 100 m	1	3,348,00	3,348,00	30,00

<b>12.7</b>	União simples 32*32	6	212,00	1,272,00	12,00
<b>12.8</b>	União simples 50*50	6	345	2,070,00	19,00
<b>12.9</b>	União simples 63*63	6	740,00	4440	40,00
<b>12.10</b>	Joelho Simples	6	424	2544	23,00
			<b>Total</b>	<b>153,048,00</b>	<b>1,400,00</b>
<b>13</b>			<b>Total</b>	<b>778,048,00</b>	<b>7073,00</b>
<b>14</b>	Imprevistos	10%	<b>TOTAL</b>	<b>855,853,00</b>	<b>7781,00</b>

### 4.3. Orçamento total

**Tabela 25: Orçamento total**

Especificações	Montante (escudos)	Montante (euro)
<b>Sistema de Bombagem + Sistema fotovoltaico + acessórios</b>	<b>696,850,00</b>	<b>6,335,00</b>
<b>Sistema de Dessalinização OR + Ligação do Dessalinizador ao sistema Fotovoltaico+ acessórios</b>	<b>3,609,540</b>	<b>32,814,00</b>
<b>Movimentação de terra + Aquisição de tubagens e acessórios diversos de polietileno</b>	<b>855,853,00</b>	<b>7781,00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5,162,243</b>	<b>46,930,00</b>
<b>+ IVA (15%)</b>	<b>774,290,00</b>	<b>7,039,00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5,936,533</b>	<b>53,968,00</b>

### 4.4. Discussão dos resultados

Segue-se abaixo a discussão dos resultados na parte financeira deste projeto. Será feito uma projeção da viabilidade económica do mesmo projeto. Serão estabelecidas as vantagens e as desvantagens que este projeto traz e será feito uma análise se os objetivos foram cumpridos.

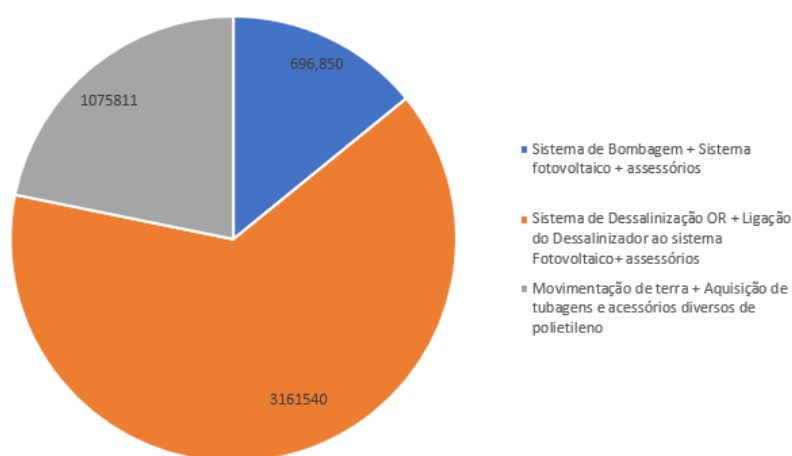
### 4.5. Viabilidade económica

A primeira análise a ser feita é sobre para ver se há realmente necessidade de fazer esse investimento todo no projeto. O projeto tem um orçamento previsto de em **5,936,533 (cinco**

milhões novecentos e trinta e seis mil e quinhentos e trinta e três escudos). De acordo com a **Figura 32: Análise económica** o maior investimento será feito no sistema RED (Dessalinização + Solar fotovoltaica).

A inquietação que fica: será que há necessidade de aquisição do sistema de Dessalinização para tratamento de água ou encontrar outra forma de adquirir água para o projeto? Bem, primeiro convém salientar que a Aldeia SOS não tem recursos hídricos suficientes para suprir a sua demanda. O segundo ponto é que, por não ter recursos hídricos suficientes, a Aldeia SOS utilizava água salobra, devido a falta de condições financeiras, por ser mais barata para as suas necessidades. Terceiro ponto e talvez o mais importante é que ao fazer isso trouxe as consequências ambientais e económicas que já foram citadas neste trabalho.

**Figura 32: Análise económica**



O primeiro ponto a analisar é a necessidade em investir 1,552,703 (um milhão quinhentos e cinquenta e dois mil e setecentos e três escudos) em sistema de canalização e bombagem solar?

Segundo informações recolhidas de pessoas com experiência na área cada tonelada de água de poço custa 100,00 (cem escudos), mais os custos com o transporte por volta de 1000 (mil escudos) dependendo da distância. Para o nosso caso gastaríamos 600,00 (escudos) por dia mais 1000,00 (mil escudos) em transporte. Tudo isso daria um total de 2000 (escudos) diários para fornecimento de água à Aldeia SOS.

Se somarmos esse valor por 30 dias uteis e funcionamento termos 60,000,00 escudos (sessenta mil escudos) por mês em gastos. Num ano esse valor ronda os 720,000,00 escudos (setecentos e vinte mil escudos). Basta dividirmos o valor do investimento nestes dois sistemas por aquilo que a Aldeia gastaria em compra de água.

$$\frac{1552703}{720000} = 2 \text{ anos}$$

Pelo valor da divisão, podemos concluir que se for feito todo esse investimento levaríamos dois anos e meio para amortecer o custo com o investimento do sistema. O sistema de Bombagem solar mais a canalização tem um tempo e vida maior que dez anos, o que significa que teríamos mais sete anos e meio de lucro. Se somarmos o valor total do investimento pelo valor dos gastos que teríamos se comprássemos a água seria:

$$\frac{5,936,533}{720000} = 8 \text{ anos}$$

Precisaríamos de oito anos para termos o retorno do investimento. Esse valor poderá diminuir uma vez que esse projeto irá criar uma fonte de rendimento com a venda destes mesmos produtos e o valor que se pouparia com este projeto, 720000, foi referenciado como um valor mínimo.

O segundo ponto a ser analisado é o investimento em sistema fotovoltaico para funcionar interligado neste sistema. Segundo a MDR existe um projeto em andamento para substituir as fontes de fornecimento de energia em todos os furos ativos pelos sistemas fotovoltaicos devido precisamente os elevados custos que se tem tido com a fatura de eletricidade. Então

a interligação do sistema de bombagem à energia solar fotovoltaico torna o projeto mais viável.

O terceiro ponto é a necessidade em adquirir um sistema de Dessalinização. Como referi acima o custo 2000 escudos (dois mil escudos) por dia tem a ver com o transporte da água até a Aldeia SOS. Eu contemplei esse valor tendo em conta a distância do atual furo (FV 37) até a Aldeia. Mas a água do furo, segundo ANAS, precisa de uma intervenção para o seu tratamento antes de ser utilizado. Só com isso justificaria a necessidade de um Dessalinizador.

A outra justificativa é que uma das metodologias utilizadas para a realização deste trabalho foi precisamente recolher informações de experiências de pessoas ligadas á área. E as informações recolhidas em primeira mão, como por exemplo com o engenheiro agrónomo Adilson. O senhor Adilson tem na sua propriedade um Dessalinizador que funciona com energia proveniente da ELETRA.

Segundo o engenheiro Adilson a única desvantagem deste sistema é funcionar interligado com a rede da ELETRA devido o alto consumo do mesmo. A interligação com fotovoltaicos ajudaria a diminuir os custos energéticos. O investimento pode ser elevado mais a curto e longo prazo compensaria. Se tomarmos em consideração que o preço de 1 KWh de energia é de 31 escudos e que o nosso sistema tem uma demanda de energia de 63 KWh/dia o que equivale a 1890 KWh/mês, temos a seguinte situação:

$$\begin{array}{l} 1KWh \text{_____} 31 \text{ escudos}_1 \\ 1890 \text{ KWh} \text{_____} X \\ X = 58590 \text{ escudos/mês} \end{array}$$

Ao somarmos os 58590 (cinquenta e oito mil e quinhentos e noventa escudos) durante os 12 meses do ano temos 585,900 (quinhentos e oitenta e cinco mil e novecentos escudos) de poupança utilizando os módulos fotovoltaicos.

O valor da poupança com o transporte é de os 720,000,00 (setecentos e vinte mil escudos). Somando com os 585,900 (quinhentos e oitenta e cinco mil e novecentos escudos) temos uma poupança anual de 1,305,900 (um milhão trezentos e cinco mil e novecentos) escudos.

$$\frac{5,936,533}{1,305,900} = 4,5 \text{ anos}$$

Conclui-se que em quatro anos e meio tenho tudo o investimento amortecido. O projeto está estimado com uma vida útil de 10 anos logo teremos cinco anos de lucro com as poupanças e com as vendas dos produtos.

#### **4.5.1. Vantagens/ desvantagens**

As vantagens associadas a este projeto são:

➤ **Ambientais**

- Proteção do solo
- Valorização do recurso Hídrico
- Uma solução para mitigar os efeitos da seca

➤ **Social/económico**

- Criação depostos de trabalho
- Fonte de rendimento e apoio para muitas famílias
- Pode impulsionar o setor agrícola do município

A desvantagem associada a este projeto está relacionada com a produção de salmoura que poderá acarretar problemas ambientais se for descartado no solo. Para solucionar este problema o descarte da salmoura será feito por um autotanque ate o mar. A produção diária de salmoura 450 (quatrocentos e cinquenta litros) por cada uma tonelada de conversão.

Se termos em conta que por dia converte-se dez toneladas de água teremos 4500 (quatro mil e quinhentos litros de salmoura) produzidos diariamente. A despesa com o transporte desta salmoura até o mar será suprida pelos parceiros da Aldeia: a camara municipal.

Caso não houve esse apoio da camara o custo como transporte de 4500 (quatro mil e quinhentos litros de salmoura) até o mar é de 500 (quinhentos escudos) por cada viagem de cinco mil litros de água. Somando tudo isso daria um valor de 15,000 (quinze mil escudos) por mês e 180,000 (cento e oitenta mil escudos) por anos. Mesmo com este gasto ainda assim os benefícios económicos não seriam afetados alem de garantir a proteção do solo e da biodiversidade do município.

#### **4.5.2. Objetivos cumpridos**

Este projeto foi trabalhado em volta dos objetivos definidos.

Foram atingidos os objetivos pelo qual foram delimitados deste projeto. Foi apresentado as etapas do dimensionamento dos sistemas e mostrar que realmente o projeto é viável ao nível económico social e ambiental.

#### **4.5.3. Analise swot**

A análise SWOT é uma ferramenta que auxilia no planeamento e gestão de um projeto. Esta análise faz uma revisão de aspetos internos e externos que podem condicionar o sucesso ou fracasso de um determinado projeto.



Análise SWOT		
Origem Interna	<b>Pontos Fortes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interesse de uma associação local no desenvolvimento do projeto;</li> <li>- Pessoal formado na área de interesse do projeto (energias renováveis e agricultura)</li> <li>- Tecnologia disponível no mercado nacional;</li> <li>- Recursos naturais disponíveis (hídricos, energia solar)</li> <li>- Necessidade de incentivar a agricultura na área de interesse do projeto.</li> </ul>	<b>Pontos Fracos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Constrangimentos legais e burocráticos;</li> <li>- Disponibilidade de financiamento;</li> <li>- Dificuldade de importação de algum material não disponível no mercado nacional;</li> <li>- Inexperiência de técnicos</li> </ul>
Origem Externa	<b>Oportunidades</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contribuir para a resolução de um problema agroambiental;</li> <li>- Valorização dos recursos naturais;</li> <li>- Aumento da qualidade de vida da população abrangida pelo projeto</li> <li>- Recuperação de solos degradados;</li> <li>- Aumento da biodiversidade local</li> </ul>	<b>Ameaças</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Elevado custo do investimento inicial;</li> <li>-Esgotamento do recurso hídrico</li> <li>-Deterioração da qualidade da água de alimentação;</li> <li>-Intermitência da fonte energética;</li> </ul>

## **5. CAPÍTULO V**

### **5.1. Conclusão**

Este projeto surgiu devido ao meu desenvolvimento pessoal e académico. Diante de um problema foram utilizadas ferramentas aprendidas como meio de solucionar esse problema.

As soluções apresentadas ao longo do projeto mostraram ser viável a nível social ambiental e económica. A nível social e económica promove uma base de apoio para as famílias menos favorecidos além de gerar uma fonte de lucro para o próprio centro. A nível ambiental vem solucionar o problema da degradação do solo por utilização da água com altos níveis de sal.

Para a implementação completo deste projeto será necessário um investimento inicial elevado, 5,936,533 (cinco milhões novecentos e trinta e seis mil e quinhentos e trinta e três escudos), mas que será rapidamente superado devido as vantagens que este projeto traz. A grande desvantagem está ligada com a salmoura produzido, mas que será aplicada medidas de mitigação.

A interligação do sistema fotovoltaico nos sistemas de dessalinização e bombagem estão de acordo com as ideias do MDR bem como da ANAS em garantir uma via sustentável para o desenvolvimento do setor agrícola do município e fornecer uma água de qualidade aos agricultores para realização das suas atividades.

O projeto demonstrou ser possível de implementar e operar na prática uma vez que tem existido uma aposta que vai crescendo nesta área o que garante a comprovação prática do tal, sendo esta última de extrema importância.

Portanto a simbiose que pode entre as renováveis e a agricultura demonstra ser uma alternativa muito viável para melhorar a acessibilidade dos agricultores aos recursos

hídricos e garantir enumeras vantagens para os mesmos. Ao mesmo tempo que a dessalinização pode garantir uma forma de expandir o curto leque de opções para abastecimento de água de qualidade para a agricultura.

De forma a concluir este extenso trabalho de salientar que ainda falta muitos caminhos a serem percorridos para estar realmente finalizado, irá requerer muito mais tempo e meios de investigação, o que me deixa pessoalmente motivado para continuar neste caminho.

Muito obrigado, José Carlos de Almeida.

## 5.2. Referência Bibliográfica

Ahmed, A., Ruth, M., Ahmad, S.B. (2017). *A review of the water desalination systems integrated with renewable energy*. Energy Procedia 110 - 268 – 274. Site: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), consultado em: 15/ 07/2019.

Baker, R.W. (2004). *Membrane Technology and Applications*. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.

Barron, O; et alii. (2013). *National and regional assessment of opportunities for desalination in Australian agriculture*. Technical Report to National Centre of Excellence in Desalination in Australia, CSIRO Flagship Water for a Healthy Country, Australia.

BlueSol. Disponível em: <<http://www.bluesol.com.br/>>. Consultado em 015/06/2019.

Cîrstea, S. *et al* (2018). *Current Situation and Future Perspectives of the Romanian Renewable Energy*. Energy ,25 November 2018.

Debirmas, A. (2000). *Recent advances in biomass conversion technologies*. Energy Educ. Sci. Technol., 6, 19–40.

Desalination Yearbook. (2001-2012). *Water Desalination Report, International Desalination Association (IDA)*, Topsfield, MA.

Deutsche Welle. Disponível em <<http://www.DW.com>, consultado em 4/07/2019).

Duffie, J., Beckman, W. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Solar Energy Laboratory University of Wisconsin-Madison, 4º edição.

Einav, R. Harussi, K. e Perry D. (2002). *The footprint of the desalination processes on the environment*. Desalination, 152 (2002) 141–154.

Fares, M.A. *et al* (2017). *Photovoltaic panels characterization and experimental testing*. International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES17, Beirut Lebanon, Energy Procedia 119, pp. 945-925.

Fritzmann, C., *et al.* (2007). *State-of-the-art of reverse osmosis desalination*. Elsevier. Desalination-1–76. site: [www: sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). consultado em: 15/07/2019.

Gleick, P.H., 1996. In: Schneider, S.H. (Ed.), *Water Resources in Encyclopedia of Climate and Weather vol. 2*. University Press, New York, pp. 817–823.

GREENPRO, (2004). *Energia fotovoltaica - manual sobre tecnologias, projeto e instalação*. Janeiro de 2004.

Gunerhan, H., Hepbasli, A., e Giresunlu, U. (2009). *Environmental Impacts from the Solar Energy Systems*. Energy Sources, Part A, 31:131–138 Taylor & Francis Group, LLC.

Hasan E. (2015). *Desalination Integration with Renewable Energy for Climate Change Abatement in the MENA Region. Recent Progress in Desalination, Environmental and Marine Outfall Systems*.

Huttner K.R. (2013). *Overview of existing water and energy policies in the MENA region and potential policy approaches to overcome the existing barriers to desalination using renewable energies. Desalination and Water Treatment*.

ITC (2019). *Dessalinização com energias renováveis*. Capítulo 2. Dessalinização I. Processos de membranas (EDR, OI).

Lauren, F., *et al.* (2009). *Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges*. Elsevier, Water Research 43-2317–2348. site: [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres).

Meerganz von Medeazza, G.L. (2005). *Direct and socially induced environmental impacts of desalination*. Desalination, 185 (2005) 57–70.

Ministério do Ambiente Agricultura e Pescas (2013). *Livro Branco sobre o Estado do Ambiente em Cabo Verde (228 páginas)*. Direção Geral do Ambiente. Cabo Verde, dezembro de 2013.

Missimer, T., Maliva, R. (2018). *Environmental issues in seawater reverse osmosis desalination: Intakes and outfalls*. Elsevier. Desalination 434 (2018) 198–215 site: [www.elsevier.com/locate/desal](http://www.elsevier.com/locate/desal), consultado em: 15/07/2019.

Panwara, N.L.; Kaushik, S.C.; Surendra, K. *Role of renewable energy sources in environmental protection: A review*. Renew. Sustain. Energy Rev. 2011, 15, 1513–1524.

Perry, R.H., Green, D.W. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. McGraw Hill, New York.

Pinho, J., Galdino, M. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro. CEPEL- CRESESB.

Ramezaniapour, M., Sivakumar, M. (2015). *Energy evaluation and treatment efficiency of vacuum membrane distillation for brackish water desalination*. IWA Publishing. Journal of Water Reuse and Desalination.

Salem A.A., Mushtaque, A., e Choudri, B. S. (2015). *Prospects of desalination for irrigation water in the Sultanate of Oman*. Journal of Water Reuse and Desalination. IWA Publishing.

Sarai, M., *et al.* (2016). *An operational and economic study of a reverse osmosis desalination system for potable water and land irrigation*. Elsevier. Desalination 397 (2016) 174–184, site: [www.elsevier.com/locate/desal](http://www.elsevier.com/locate/desal). Consultado em: 15/07/2019.

Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N. e Gekas, V. (2005). *Environmental impacts from the solar energy technologies*. EnergyPolicy-289–296.Site: [www.elsevier.com/locate/enpol](http://www.elsevier.com/locate/enpol). Consultado em: 31/07/2019.

Vorosmarty, C. J., Leveque, C. e Revenga, C. (2005). Fresh water. In: *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends* (R. Hassan, R. Scholes eds & N. Ash,). Island Press, Washington DC, pp. 165–207.

Zarzo, D., Campos, E. e Terrero, P. (2012). *Spanish experience in desalination for agriculture*. Desalination. Water Treat. 51, 53–66.

# ANEXO

## Anexo 1

Tabelas referentes às perdas de carga para tubulações para cada 100 m de tubulação.

Perdas de Carga (perda equivalente em metros de altura manométrica para cada 100 m de tubulação)							
Vazão (L/h)	Diâmetro interno da tubulação (mm)						
	19	26	32	38	50	63	75
500	1,15						
1.000	4,65	1,15	0,23				
2.000	22,40	5,30	1,43	0,55			
3.000		9,90	2,50	1,00	0,50	0,18	
4.000		16,25	4,55	2,00	0,83	0,38	0,14
5.000			6,45	2,60	1,15	0,48	0,17
6.000			9,25	4,30	1,55	0,58	0,20
7.000			12,85	5,45	2,00	0,68	0,25
8.000			16,60	7,50	2,50	0,90	0,30
9.000				9,45	3,05	1,13	0,40
10.000				12,50	4,25	1,40	0,58
12.000				15,45	5,45	1,90	0,75
15.000				23,50	8,10	3,00	1,18

Perdas de Carga (m) por tipo de conexão – Equivalência em metros lineares de tubulação de mesmo diâmetro interno			
Conexão	Diâmetro interno da tubulação (mm)		
	32	50	63
Joelho 45°	0,274	0,457	0,610
Joelho 90°	0,457	0,762	1,067
T	0,762	1,067	1,524
Válvula Globo	7,620	13,716	16,764
Válvula Gaveta	0,183	0,305	0,396
Válvula de Retenção	0,914	1,524	2,134

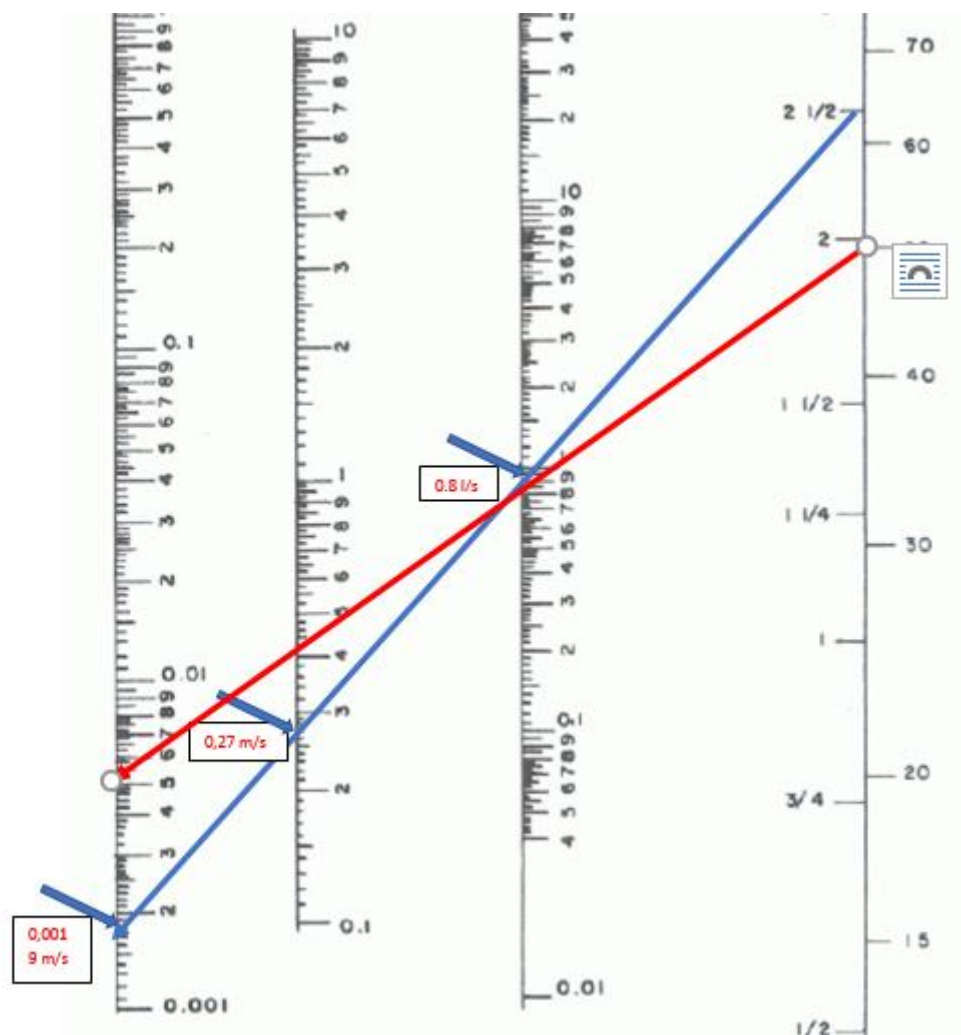
A tabela abaixo apresenta a eficiência das eletrobombas para diferentes alturas.

Altura (m)	Tipo de motobomba	Eficiência
5	centrífuga de superfície	25%
20	centrífuga de superfície	15%
20	submersível	25%
100	submersível ou deslocamento positivo	35%
> 100	deslocamento positivo	45%



## Anexo 2

Tabela que mostra os parâmetros de escoamento hidráulico.



### Anexo 3

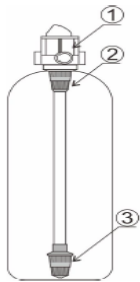
Descrição dos equipamentos do sistema de dessalinização

Bomba de Alimentação

	Especificação	
	Modelo	CDMF5-7
	Nome do Fabricante	CNP
	Material	SUS316
	Diâmetro interno	DN32
	Diâmetro Externo	DN32
	Conexão	
	Potência	1.1 KW

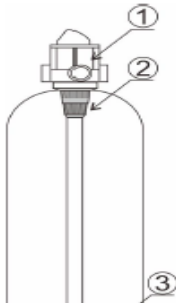
Fonte: Zhuhai Wangyang Treatment

Filtro de areia: Descrição do filtro de areia

	Especificação	
	Resistência a Pressão	MAX: 1.5 Mpa
	Nome do Fabricante	CNP
	Material	FRP
	Diâmetro	750 mm
	Maior	1900 mm
		900 mm


Fonte: Zhuhai Wangyang Treatment

## Filtro de Carvão Ativado: Filtro de Carvão Ativado

	Especificação	
	Resistência a Pressão	MAX: 1.5 Mpa
	Nome do Fabricante	CNP
	Material	FRP
	Diâmetro	750 mm
	Maior	1900 mm

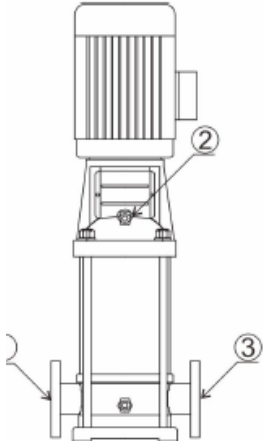
Fonte: Zhuhai Wangyang Treatment

## Filtro de Pressão: descrição do Filtro de pressão

	Especificação	
	Fluxo	15 m <sup>3</sup> /h
	Nome do Fabricante	CNP
	Material	FRP
	Diâmetro	108 mm
	Inlet water port	1 polegada
	Outlet water port	1 polegada
	Quantidade	1

Fonte: Zhuhai Wangyang Treatment

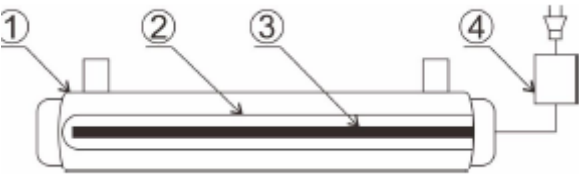
## Bomba de Alta Pressão: Bomba de Alta Pressão

	Especificação	
	Modelo	CDMF5-30
	Nome do Fabricante	CNP
	Material	SUS316
	Diâmetro	108 mm
	Inlet water port	DN32
	Outlet water port	DN32
	Quantidade	1
	Conexão	Flange
	Potência	5.5 Kw

Fonte: Zhuhai Wangyang Treatment

## Esterilizador UV

Tabela 26: Esterilizador UV

	Especificação	
	Comprimento	1000 mm
	Nome do Fabricante	CNP
	Material	SUS
	Diâmetro	108 mm
	Inlet water port	DN40
	Outlet water port	DN40
	Quantidade	1
	Pressão Máxima	0,6 Mpa
	Potência	500 W

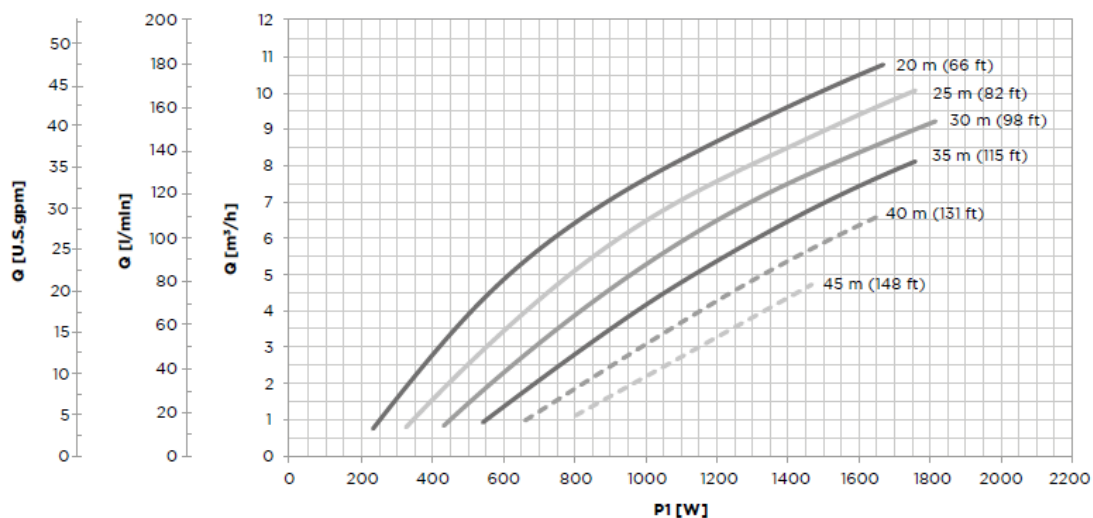
Fonte: Zhuhai Wangyang Treatment

## Anexo 4

Curva de Performance da bomba 4HS 08/03 MP.

### Performance

#### 4HS 08/03 MP



## Anexo 5

Tabela de parâmetros básicos da água e algumas especificações sobre a qualidade da água de alimentação, água salobra, que definirão a escolha das membranas.

Raw Water Quality	
TDS	≅ 9000PPM
Inlet Temperature	5~45°C

Product Water Quality	
TDS	≅ 500mg/L

Base parameter		
Type	Brackish water desalination	Unit
Inlet Flow	5.45	m³/h
Product Flow	3	m³/h
Desalination Rate	≅ 99.5	%

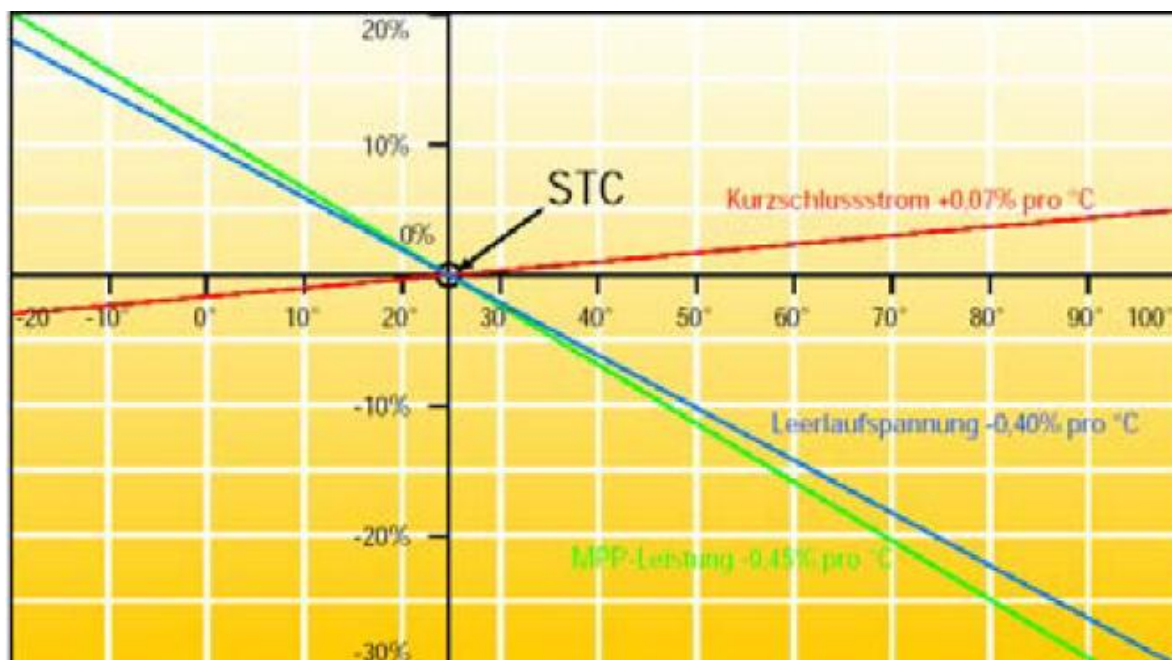
<b>Product Recovery Rate</b>	55	%
<b>Operating Pressure</b>	$\cong 3$	Mpa
<b>Product Water TDS</b>	$\cong 700$	mg/L
<b>Protection Levels</b>	IP54	
<b>Voltage</b>	380V/ 50Hz / Three-phase	
<b>Rated Power</b>	5.61KW	
<b>Environment Temperature</b>	0~45°C	
<b>Air Humidity</b>	20~90%	

### Product Specification

72T/d RO BRACKISH WATER DESALINATION EQUIPMENT	
<b>Model</b>	WY-BW-72
<b>Water Yield</b>	72m <sup>3</sup> /d
<b>Configurations</b>	Dow, Toray, Hydranautics / CNP pump(Optional)
<b>Application</b>	Drinking Water, Industrial process water treatment
<b>Net Weight</b>	6000KG
<b>Dimensions(L*W*H)</b>	20 feet container

## Anexo 6

A figura abaixo mostra a dependência térmica das características elétricas dos módulos fotovoltaicos.



## Anexo 7

Fatura da Pró-Forma dos preços dos equipamentos para montagem de sistema de bombagem solar.

AUTOMATIC LIFE, Lda  
Contribuinte N.º: 266436692  
Rua Angola 29  
Mindelo - Sao Vicente  
C.P. 1404  
Telef. 238 2314646/9711919 Fax.

Pág. 1/1

email: automatic.life.cv@gmail.com

Exmo.(s) Sr.(s)

e: calualmeida02@gmail.com

Dados Bancarios:

BCA: 8301415310001 NIB: 000300008301415310176

BI : 618074410001 NIB: 0005000000618074410197

ALDEIA S.O.S.

RIBEIRA DE JULHAO

### Orçamento N.º 25/2019

Original

V/N.º Contrib.	Requisição	Moeda	Câmbio	Data	Desc. Cli.	Desc. Fin.	Vencimento	Condição Pagamento		
		CVE	1,00	2019-09-03	0,00	0,00	2019-09-03	70% a confirmação, 30% a conclusão		
Artigo	Descrição				Qtd.	Un.	Pr. Unitário	Desc.	IVA	Valor
	Sistema bombagem externo									
ARTMAN	Bomba Nastec 4HS 08/03MP				1,00	UN	180.000,00	0,00	15,00	180.000,00
FVPAINES	Painel Módulo Fotovoltaico 280WP Eurener				9,00	UN	21.000,00	0,00	15,00	189.000,00
K2-SYSTEM	Estrutura em aluminio para paineis solar com triangulo 15º				1,00	UN	0,00	0,00	15,00	
	Acessorios									
ARTMAN	Cabo 3x6mm mt				50,00	UN	1.500,00	0,00	15,00	75.000,00
ARTMAN	Cabo comando mt				500,00	UN	150,00	0,00	15,00	75.000,00
MDC	material de consumo varios				1,00	UN	30.000,00	0,00	15,00	30.000,00
MDO	Mao de Obras				1,00	DIA	70.000,00	0,00	15,00	70.000,00

Fatura da Pró-Forma dos preços dos equipamentos da montagem de sistema de FV para a dessalinização.

AUTOMATIC LIFE, Lda  
 Contribuinte N.º: 266436692  
 Rua Angola 29  
 Mindelo - Sao Vicente  
 C.P. 1404  
 Telef. 238 2314646/9711919 Fax.

Pág. 1/1

email: automatic.life.cv@gmail.com

Dados Bancarios:  
 BCA: 8301415310001 NIB: 000300008301415310176  
 BI : 618074410001 NIB: 0005000000618074410197

Exmo.(s) Sr.(s)  
 Alideia S.o.s.  
 Ribeira de Julhao  
 e: calualmeida02@gmail.com

**Orçamento N.º 26/2019**

Original

V/N.º Contrib.	Requisição	Moeda	Câmbio	Data	Desc. Cli.	Desc. Fin.	Vencimento	Condição Pagamento		
		CVE	1,00	2019-09-03	0,00	0,00	2019-09-03	70% a confirmação, 30% a conclusão		
Artigo	Descrição				Qtd.	Un.	Pr. Unitário	Desc.	IVA	Valor
	Sistema FV para dessalinização									
ARTMAN	Inversor de rede trifasico 12KW (Solax 3 12.0-P-T-D)				1,00	UN	180.000,00	0,00	15,00	180.000,00
FVPAINES	Painel Módulo Fotovoltaico 280WP Eurenner				36,00	UN	21.000,00	0,00	15,00	756.000,00
K2-SYSTEM	Estrutura em aluminio para paineis solar com triangulo 15º				1,00	UN	0,00	0,00	15,00	
SPM02	Solax X3 - NFI Monitorização e exportação zero e smart meter				1,00	UN	19.000,00	0,00	15,00	19.000,00
MDC	material de consumo varios (cao solar, ficha e Ac/Dc)				1,00	UN	150.000,00	0,00	15,00	150.000,00
MDO	Mao de Obras				1,00	DIA	100.000,00	0,00	15,00	100.000,00



Fatura da Pró-Forma dos preços dos equipamentos do Sistema de Bombagem de água.

**Casa do Agricultor, Lda**  
 Contribuinte N.º: 267823592  
 Avenida da Holanda  
 Telef. 238 2313822/9846181 Fax.  
 Capital Social 0,00

Exmo.(s) Sr.(s)  
 JOSÉ CARLOS DE ALMEIDA  
 SÃO VICENTE

**Conta Bancária:**  
 - BCA: 85025933.10.001

Original  
**Factura Pró-Forma - Avenida Holanda N.º 50/2019**

V/N.º Contrib.	Data	Vencimento	Desc.	Desc. Fin.	Condição Pagamento	Pronto Pagamento
xxxxxxxxxxx	2019-08-13	2019-08-13	0,00	0,00	IVA	Valor
<b>Artigo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Qtd. Un.</b>	<b>Pr. Unitário</b>			
90109628	VALVULA DE ESFERA JUNTA RAPIDA 63MM	1,00 UN	2.312,00	0,00		2.312,00
90109436	VALVULA DE RETENÇÃO YORK 2"	1,00 UN	2.000,00	0,00		2.000,00
901040006	TUBO PEBD PN4/cm D63 (2")- ROLO 100 Mts	4,00 UN	20.000,00	0,00		80.000,00
901090386	TUBO PEBD PN4/cm D50 (1 1/2")- ROLO 100 Mts	2,00 UN	12.750,00	0,00		25.500,00
90109074	TUBO PEBD 4 Kg/cm 1 1/2" Rolo de 50 Mts	1,00 UN	6.500,00	0,00		6.500,00
501010154	TUBO GOTEJADOR 20 CM ROLO 400 MTS	1,00 UN	11.500,00	0,00		11.500,00
901030058	Tubo Got Turbul Ceodrip 16mm R100M 10mm 4Lts 20cm	1,00 UN	3.348,00	0,00		3.348,00
90109502	UNIÃO SIMPLES 32*32	1,00 UN	212,00	0,00		212,00
90109503	UNIÃO SIMPLES 50*50	1,00 UN	345,00	0,00		345,00
90109672	UNIÃO SIMPLES 63 X 63	1,00 UN	740,00	0,00		740,00
90109455	UNIÃO ROSCA MACHO 50*1 1/2"	1,00 UN	200,00	0,00		200,00
90109458	UNIÃO ROSCA MACHO 63* 2"	1,00 UN	554,00	0,00		554,00
90109488	JOELHO SIMPLES 50*50	1,00 UN	424,00	0,00		424,00
<b>A Transportar 133.635,00</b>						

Original

**Factura Pró-Forma - Avenida Holanda N.º 50/2019**

V/N.º Contrib.	Data	Vencimento	Desc.	Desc. Fin.	Condição Pagamento	Pronto Pagamento
xxxxxxxxxxx	2019-08-13	2019-08-13	0,00	0,00	Transportado	133.635,00
<b>Artigo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Qtd. Un.</b>	<b>Pr. Unitário</b>		IVA	Valor
90109090	JOELHO SIMPLES 63x63	1,00 UN	593,00	0,00		593,00

Processado pelo programa PRIMAVERA licenciado exclusivamente pelo contribuinte. / @ Primavera

Taxa/Valor	Incidência	Total	Isenção
IVA (0,00)	134.228,00	0,00	

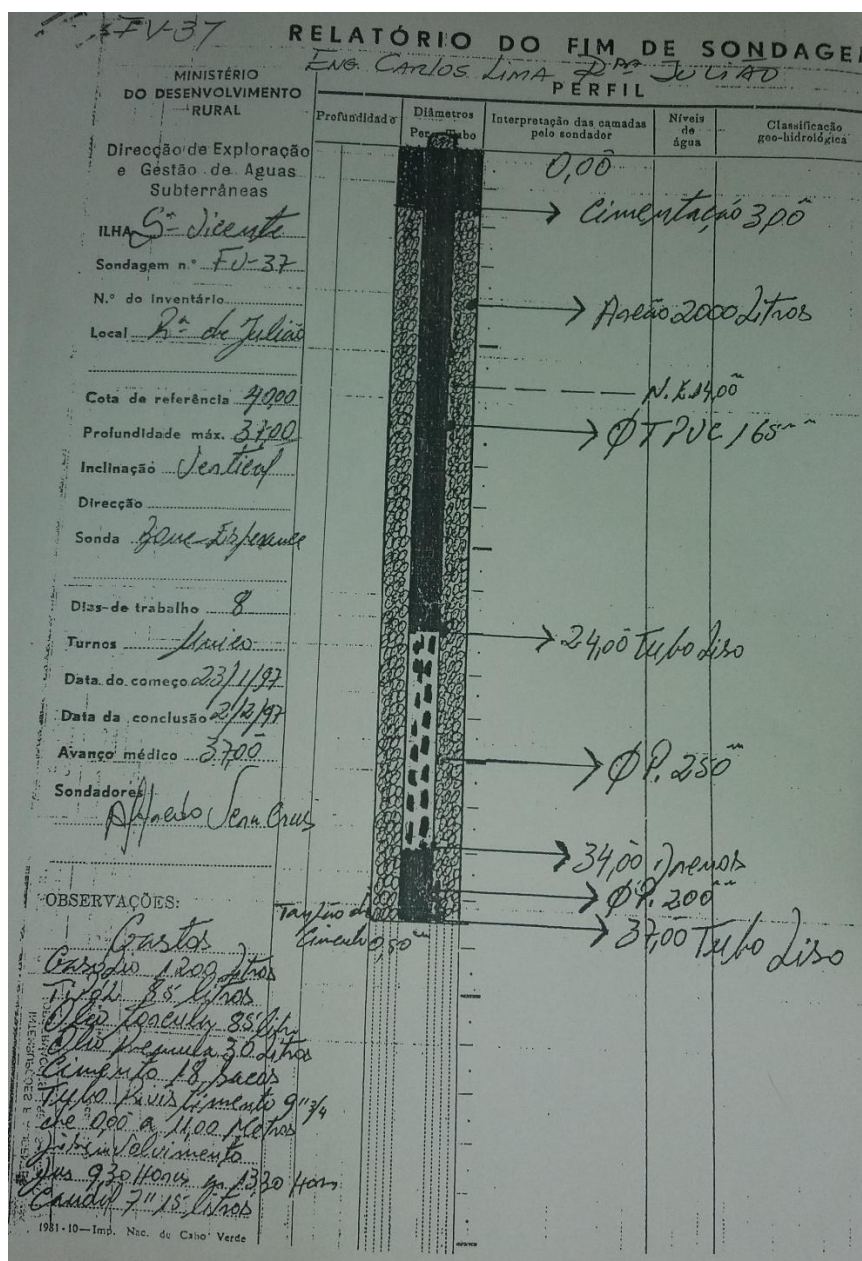
Carga	Descarga
N/ Morada - 2019-08-13 / 16:21	V/ Morada
Avenida da Holanda	SÃO VICENTE

FERNANDO PÓ

Amazon Central	Loja Av. Holanda	Sede	Loja P. Novo	Loja Rº Grande
Tel: 9191324	Tel: 9191322	Tel: 2313822	(Frente C. Municipal)	Tel: 2213040
Movel: 9191324		Movel: 9191314	Movel: 9191319	Movel: 9191315
		9846181		

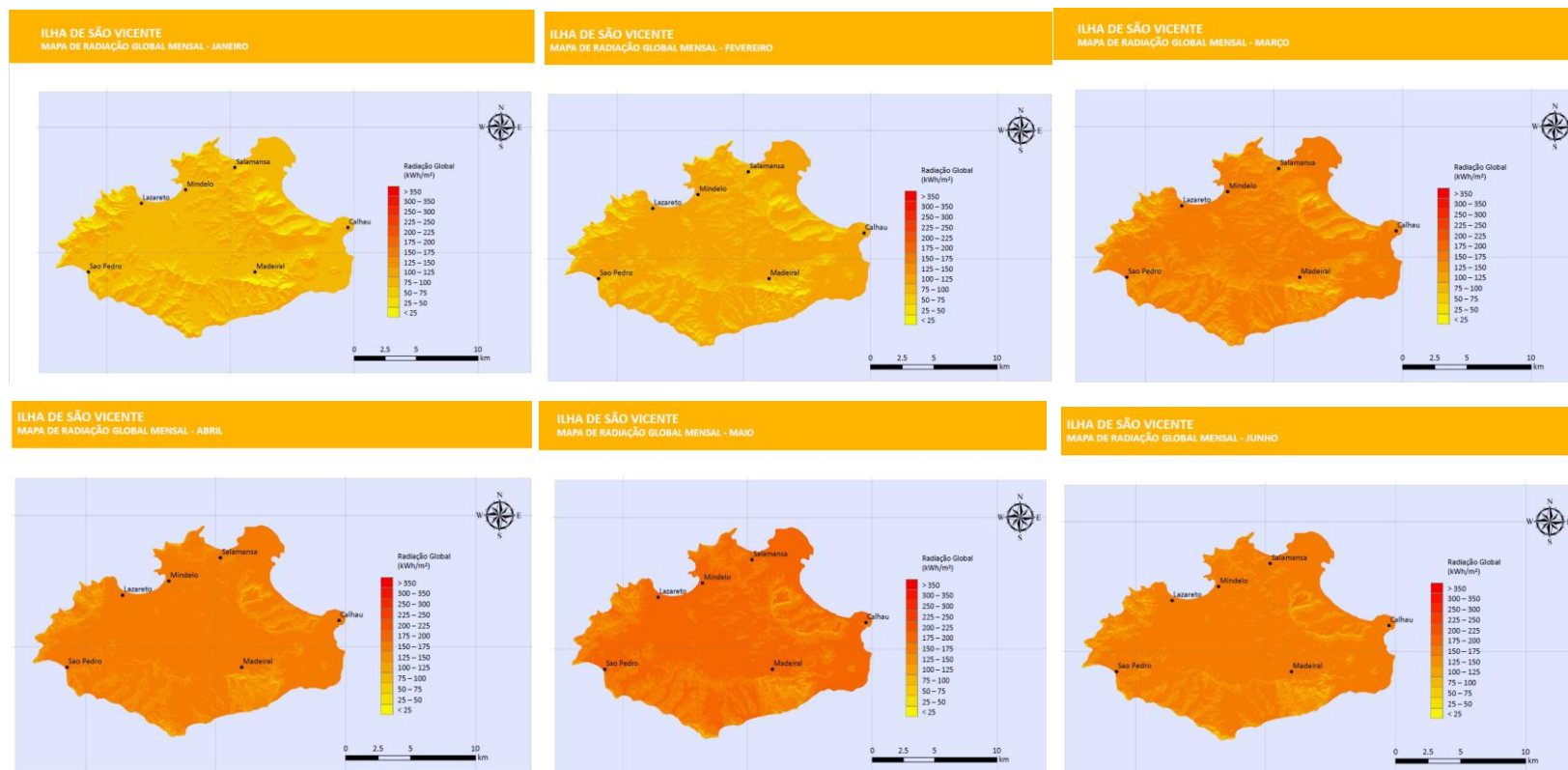
## Anexo 8

Relatório do MDR feito pela direção de Exploração e Gestão de Águas Subterrâneas.  
Esquema do corte transversal do furo FV-37.



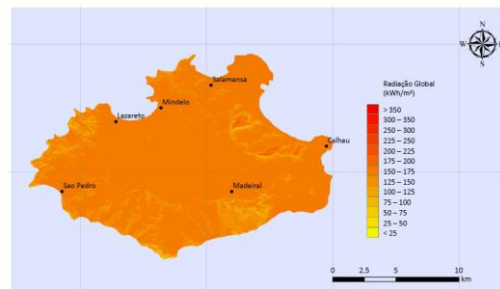
## Anexo 9

### Mapa da radiação global da ilha de São Vicente durante os 12 meses

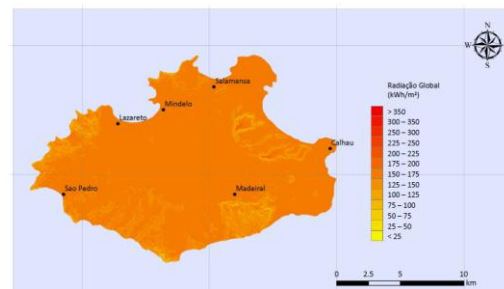




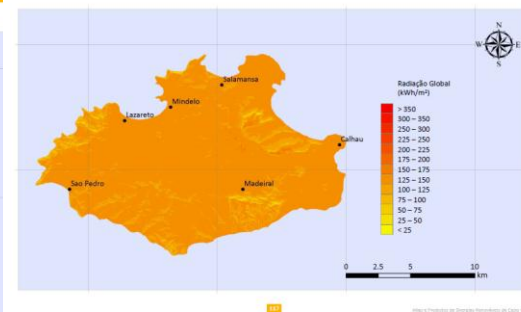
ILHA DE SÃO VICENTE  
MAPA DE RADIAÇÃO GLOBAL MENSAL - JULHO



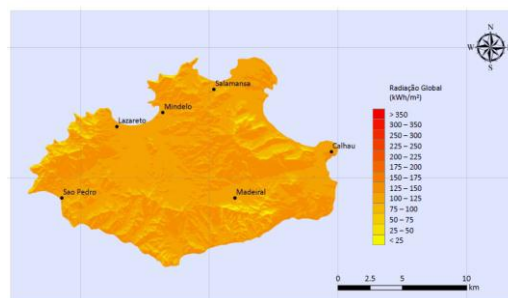
ILHA DE SÃO VICENTE  
MAPA DE RADIAÇÃO GLOBAL MENSAL - AGOSTO



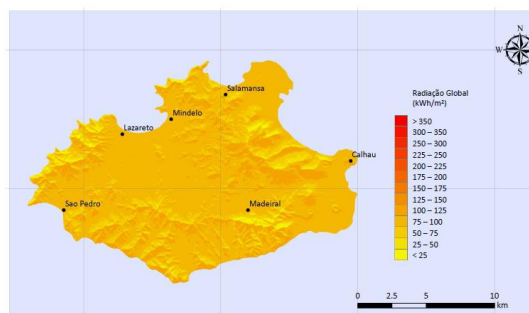
ILHA DE SÃO VICENTE  
MAPA DE RADIAÇÃO GLOBAL MENSAL - SETEMBRO



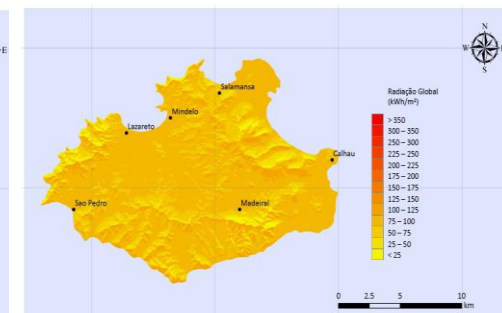
ILHA DE SÃO VICENTE  
MAPA DE RADIAÇÃO GLOBAL MENSAL - OUTUBRO



ILHA DE SÃO VICENTE  
MAPA DE RADIAÇÃO GLOBAL MENSAL - NOVEMBRO



ILHA DE SÃO VICENTE  
MAPA DE RADIAÇÃO GLOBAL MENSAL - DEZEMBRO



## Anexo 10

Dados referentes a estimação do fluxo da radiação solar numa placa inclinada  $16^\circ$  para a ilha do Mindelo com uma latitude de  $16^\circ$  em diferentes épocas do ano, nomeadamente nos solstícios de inverno (dezembro) e verão (junho) e nos equinócios de outono (setembro) e primavera (março).

